PCO

PROGRAMA DE CERTIFICAÇÃO OPERACIONAL CST

TUBULAÇÃO INDUSTRIAL E ESTRUTURA METÁLICA

SUMÁRIO

1 TUBULAÇÃO INDUSTRIAL

1.1 PRINCIPAIS MATERIAIS PARA TUBOS

Empregam-se hoje em dia uma variedade muito grande de materiais para a fabricação de tubos só a A.S.T.M. (American Society for Testing and Materials) especifica mais de 500 tipos diferentes de materiais. Damos a seguir um resumo dos principais materiais usados:

- Tubos metálicos
  - Ferrosos
    - Aços-carbono (carbon-steel)
    - Aços-liga (low alloy, high alloy steel)
    - Aços inoxidáveis (stainless-steel)
    - Ferro fundido (cast iron)
    - Ferro forjado (wrought iron)
    - Ferros ligados (alloy cast iron)
    - Ferro modular (nodular cast iron)
  - Não ferrosos
    - Cobre (copper)
    - Latões (brass)
    - Cupro-niquel
    - Alumínio
    - Níquel e ligas
    - Metal Monel
    - Chumbo (lead)
    - Titânio, Zircônio.

- Tubos não metálicos
  - Materiais plásticos
    - Cloreto de polivinil (PVC)
    - Polietileno
    - Acrílicos
    - Acetato de celulose
    - Epóxi
    - Poliésteres
    - Fenbucos etc.
  - Cimento-amianto (transite)
  - Concreto armado
  - Barro vibrado (clay)
  - Borrachas
  - Vidro
  - Cerâmica, porcelana etc.

- Tubos de aço com revestimento interno de
  - Zinco
  - Materiais plásticos
  - Elastômeros (borrachas), ebonite! Asfalto
  - Concreto
  - Vidro, porcelana, etc.

Veremos adiante, com mais detalhes, os tubos dos materiais de maior importância industrial.

A escolha do material adequado para uma determinada aplicação é sempre um problema complexo, cuja solução depende principalmente da pressão e temperatura de trabalho, do fluído conduzido (aspectos de corrosão e contaminação), do custo, do maior ou menor grau de segurança necessário, das sobrecargas externas que existirem, e também, em certos casos, da resistência ao escoamento (perdas de carga). Voltaremos mais adiante a todas essas questões

1.2 PROCESSOS DE FABRICAÇÃO DE TUBOS

Ha quatro grupos de processos industriais de fabricação de tubos:

Tubos sem costura (seamless Pipe)	Laminação (rolling) Extrusão (extrusion) Fundição (casting)

Tubos com costura (welded pipe)-Fabricação por solda (welding). Os processos de laminação e de fabricação por solda são os de maior importância, e por eles são feitos mais de 213 de todos Os tubos usados em instalações industriais.

1.3 FABRICAÇÃO DE TUBOS POR LAMINAÇÃO

Os processos de laminação são os mais importantes para a fabricação de tubos de aço sem costura; empregam-se para a fabricação de tubos de aços-carbono, aços-liga e aços inoxidáveis, desde 8 cm ate 65 cm de diâmetro.

Há vários processos de fabricação por laminação, o mais importante dos quais é o processo "Mannesmann", que consiste resumidamente nas seguintes operações:

1. Um lingote cilíndrico de aço, com o diâmetro externo aproximado do tubo que se vai fabricar, e aquecido à cerca de 1.200^{o}C e levado ao denominado "laminador oblíquo".

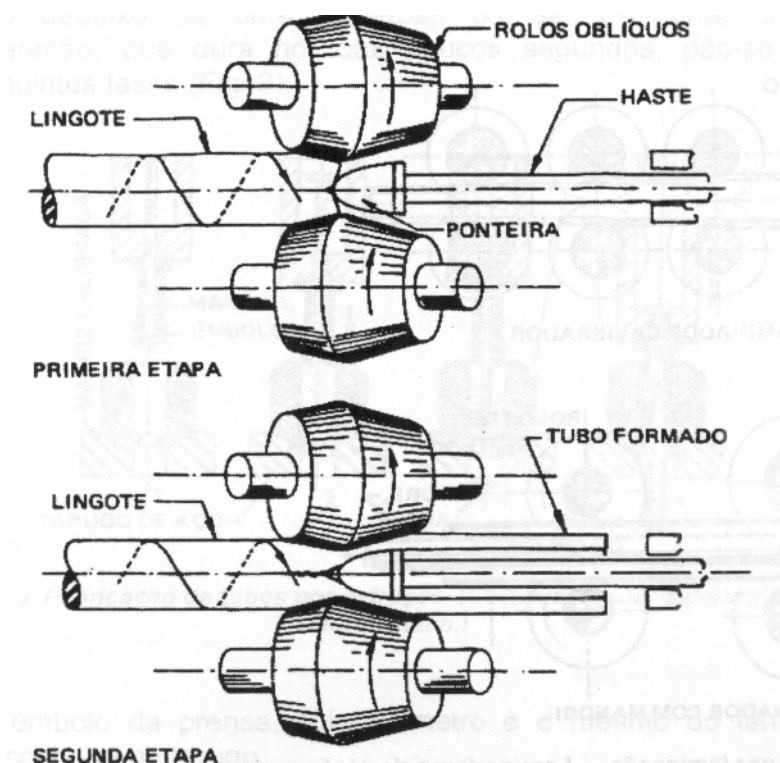



Fig.1 Fabricação de tubos por laminação
Laminador oblíquo "Mannesmann". (Cortesia da Cia. Siderúrgica Mannesmann).

2. O laminador oblíquo tem rolos de cone duplo, cujos eixos fazem entre si um pequeno ângulo (Fig 1). O lingote é colocado entre os dois robôs, que o prensam fortemente e imprimem, ao mesmo tempo, um movimento helicoidal de rotação a translação em conseqüência do movimento de translação o lingote e pressionado contra uma ponteira cônica que se encontra entre os rolos. A ponteira abre um furo no centro do lingote, transformando-o em tubo e alisa continuamente a superfície interna recém-formada. A ponteira, que é fixa, esta colocada na extremidade de uma haste com um comprimento maior do que o tubo que resultam.

3. O tubo formado nessa primeira operação tem paredes muito grossas. A ponteira é então retirada e o tubo, ainda bastante quente, e levado para um segundo laminador oblíquo, com uma ponteira de diâmetro um pouco maior, que afina as paredes do tubo, aumentando o comprimento e ajustando o diâmetro externo.

4. Depois das duas passagens pelos laminadores oblíquos o tubo está bastante empenado. Passa então em uma ou duas máquinas desempenadoras de rolos.

5. O tubo sofre, finalmente, uma série de operações de calibragem dos diâmetros externo e interno, e alisamento das superfícies externa e interna. Essas operações são feitas em varias passagens em laminadores com mandris e em laminadores calibradores (fig. 2).

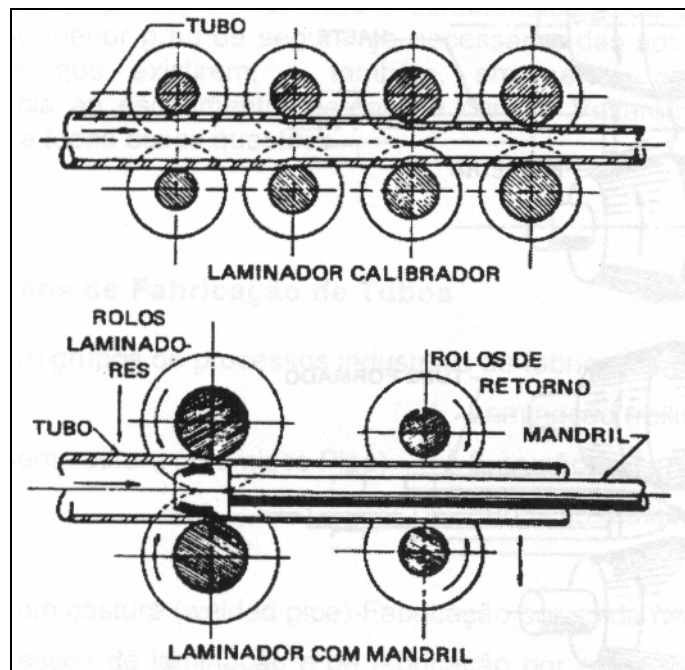



Fig. 2 Fabricação de tubos por laminadores - Laminadores de acabamento. (Cortesia da Cia. Siderúrgica Mannesmann.)

1.4 PROCESSO DE EXTRUSÃO E FUNDIÇÃO

1. Extrusão - Na fabricação por extrusão, um tarugo maciço do material em estado pastoso, e colocado em um recipiente de aço debaixo de uma poderosa prensa. Em uma única operação, que dura no total poucos segundos, dão as seguintes fases (Fig. 3):

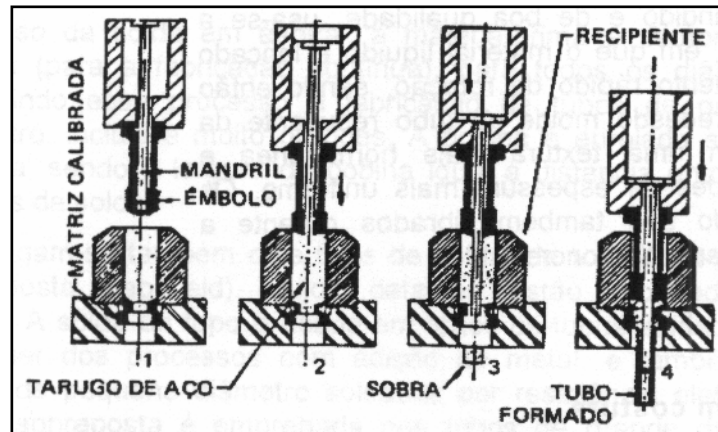



Fig. 3 Fabricação de tubos por extrusão
(Cortesia da Cia. Siderúrgica Mannesmann.)

a) O embolo da prensa, cujo diâmetro é o mesmo do tarugo, encosta-se no tarugo.

b) O mandril, acionado pela prensa, fura completamente o centro do tarugo.

c) Em seguida, o embolo empurra o tarugo obrigando o material a passar pelo furo de uma matriz calibrada e por fora do mandril, formando o tubo.

Para tubos de aço a temperatura de aquecimento e da ordem de 1.200°C; as prensas são sempre verticais e o esforço da prensa pode chegar a 1.500 t. Os tubos de aço saem dessa primeira operação curtos e grossos: são levados então, ainda quentes, a um laminador de rolos para redução do diâmetro. Vão finalmente para outros laminadores que desempenam e ajustam as medidas do diâmetro e da espessura das paredes.
Fabricam-se por extrusão tubos de aço de pequenos diâmetros (abaixo de 8 cm) e também tubos de alumínio, cobre, latão, chumbo e outros metais não ferrosos, bem como de materiais plásticos.

2. Fundição - Nesses processos o material do tubo, em estado liquido, e despejado em moldes especais, onde solidifica-se adquirindo a forma final.

Fabricam-se por esse processo, tubos de ferro fundido, de alguns aços especiais nao-forjáveis, e da maioria dos materiais não-metálicos, tais como: barro vidrado, concreto, cimento-amianto, borrachas etc.

Para os tubos de ferro fundido e de boa qualidade, usa-se a fundição por centrifugação, em que o material líquido é lançado em um molde com movimento rápido de rotação, sendo então centrifugado contra as paredes do molde. O tubo resultante da fundição centrifugada tem uma textura mais homogênea e compacta e também paredes de espessura mais uniforme Os tubos de concreto armado são também vibrados durante a fabricação para o adensamento do concreto.

1.5 FABRICAÇÃO DE TUBOS COM COSTURA

Fabricam-se pelos diversos processos com costura, descritos a seguir, tubos de aços-carbono, aços-liga, aços inoxidáveis e ferro forjado, em toda faixa de diâmetros usuais na industria.

Existem duas disposições da costura soldada: longitudinal (ao longo de uma geratriz do tubo) e espiral (*) (Fig 4), sendo a longitudinal a empregada na maioria dos casos.

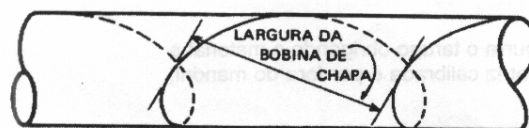
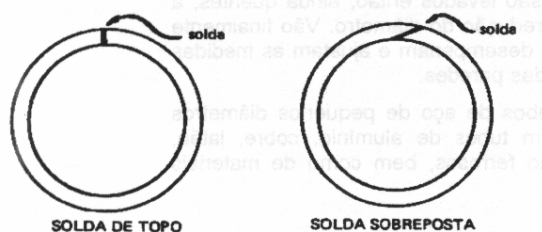



Fig. 5 Tipos de solda em tubos com costura.

Para os tubos com solda longitudinal a matéria-prima pode ser uma bobina de chapa fina enrolada, ou chapas planas avulsas. As bobinas são usadas para a fabricação continua de tubos de pequeno diâmetro empregando-se as chapas planas para os tubos de diâmetros médios e grandes. A bobina ou a chapa é calandrada no sentido do comprimento ate formar o cilindro, sendo então as bordas entre si; a circunferência do tubo formado é a largura da bobina ou da chapa.

No caso da solda em espiral, a matéria-prima é sempre uma bobina (para a fabricação continua), para todos os diâmetros, permitindo esse processo à fabricação de tubos de qualquer diâmetro, inclusive muito grandes. A bobina é enrolada sobre si mesma, sendo a largura da bobina igual a distancia entre duas espiras da solda.

Empregam-se também dois tipos de solda: de topo (butt-weld) e sobreposta (lap-weld), cujos detalhes estão mostrados na Fig. 5. A solda de topo e usada em todos os tubos soldados por qualquer dos processos com adição de metal, e também nos tubos de pequeno diâmetro soldados por resistência elétrica. A solda sobreposta é empregada nos tubos de grande diâmetro soldados por resistência elétrica

São os seguintes os processos industriais mais importantes de execução da solda:

a) Solda elétrica por arco protegido (com adição de metal do eletrodo):

- Solda por arco submerso (submerged arc welding).
- Solda com proteção de gás merle (inert gas welding).

b) Solda par resistência elétrica (electric resistance welding ERW) (sem adição de metal).

Nos processos de solda com adição de metal, a bobina ou a chapa e sempre dobrada a frio até o diâmetro final; a conformação pode ser conseguida pela

dobragem contínua da bobina, por meio de rolos, em máquinas automáticas, ou pela calandragem ou prensagem de cada chapa. Qualquer que seja o processo de soldagem, a solda e feita sempre a topo e com o mínimo de dois passes, um dos quais, nos tubos de boa qualidade, e dado pelo lado interno do tubo. Em qualquer caso, exige-se sempre que os bordos da bobina ou da chapa sejam previamente aparados e chanfrados para a solda, A solda por arco submerso e a solda com proteção de gás inerte são feitas automática ou semi-automaticamente. O processo de solda manual é raramente empregado por ser antieconômico.

Todos os processos de solda por arco protegido são usados principalmente para a fabricação de tubos de aço de grandes diâmetros (25 cm em diante), embora seja possível a fabricação de tubos desde 10cm. A costura de solda pode ser longitudinal ou em espiral.

Os tubos com costura são quase sempre de qualidade inferior aos sem costura, mas o seu uso e bastante generalizado por serem geralmente mais baratos.

No passado foram muito usados, para diâmetros grandes, tubos de chapa de aço rebitada. Esses tubos, já ha bastante tempo, estão completamente em desuso.

1.6 FABRICAÇÃO DE TUBOS SOLDADOS POR RESISTÊNCIA ELÉTRICA.

Nos processos de solda por resistência elétrica, a bobina de chapa depois de cortada na largura certa, e conformada inteiramente a frio, em uma maquina de fabricação continua com rolos que comprimem a chapa de cima para baixo e depois lateralmente, coma mostra a Fig. 6. Uma vez atingido o formato final do tubo, dá a soda pelo duplo efeito da passagem de uma corrente elétrica local de grande intensidade e da forte compressão de um bordo contra o outro pela ação de dois rolo laterais.

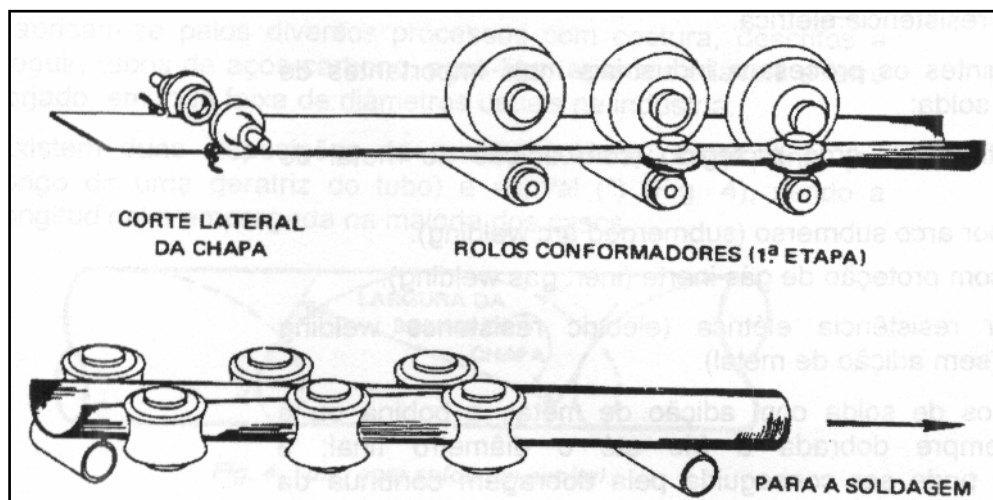



Fig. 6: Fabricação de tubos por solda de resistência elétrica. (Cortesia da Cia. Siderúrgica Mannesmann.)

Há dois sistemas de condução da corrente em ao tubo:

1. O processo dos discos de contato [Fig. 7 (a)] que rojam sabre o tubo com pequena pressão, próximos aos bordos a soldar. Esse processo aplica-se aos tubos de diâmetros acima de 15 cm.

2. Processo "Thermatool", mais moderno e aplicável aos tubos de pequeno diâmetro, em que a corrente passa entre dois eletrodos de cobre macio que deslizam suavemente sobre Os bordos do tubo, como mostra a Fig. 7 (b).

Em qualquer dos casos, a corrente elétrica usada é sempre alternada, de baixa voltagem e de alta freqüência (até 400.000 ciclos). A corrente de alta freqüência tem a vantagem de produzir um aquecimento mais uniforme e mais local, pelo fato de caminhar apenas pela superfície do metal. A intensidade da corrente, que é sempre elevada, dependerá da espessura da chapa e da velocidade de passagem do tubo pelos eletrodos. A temperatura no local da solda e da ardem de 1.400^{o}C, devendo por isso, tanto o tubo como os eletrodos terem uma ampla circulação de óleo de resfriamento.

Imediatamente depois da solda, a rebarba externa e removida e em seguida a tubo é resfriado, desempenado, calibrado e cortado no comprimento certo.

Até 15 a 20cm de diâmetro os tubos são soldadas a topo, e para diâmetros maiores a solda é sobreposta devendo os bordos serem previamente chanfrados.

As tolerâncias de fabricação dos tubos com costura de resistência elétrica (variação da espessura, do diâmetro e ovalização) podem ser bem mais rigorosas do que as relativas aos tubos sem costura.

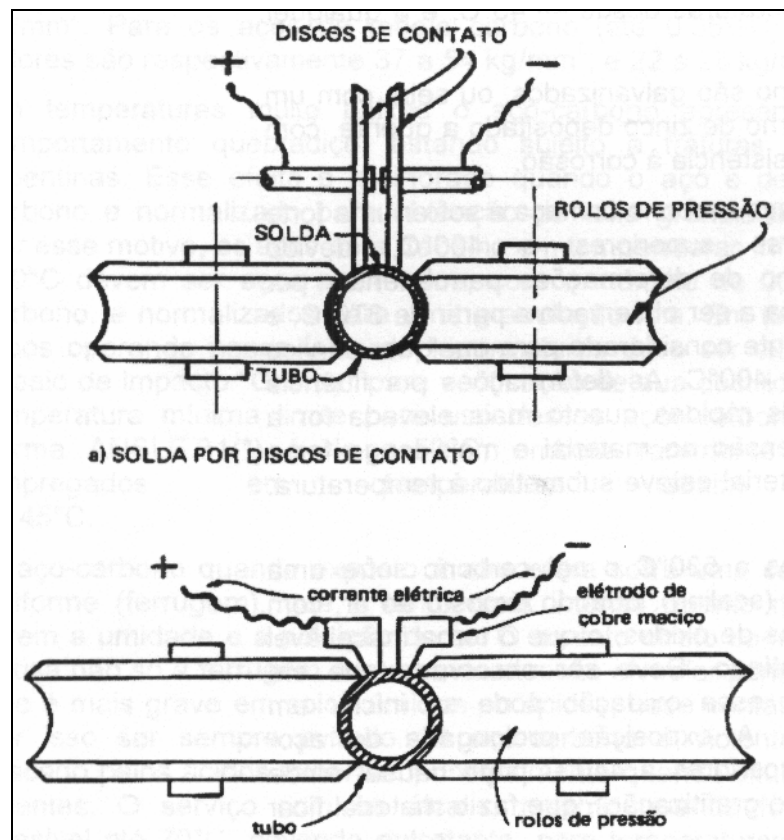



Fig 7 Processos de soldagem por resistência elétrica.

Os tubos de boa qualidade soldados por resistência elétrica costumam ser normalizados para o refinamento da estrutura próximo a solda, e para alívio das tensões resultantes da solda.

Os tubos fabricados por resistência elétrica apresentam quase sempre uma rebarba interna decorrente da solda, difícil de ser removida.

1.7 TUBOS DE AÇO-CARBONO

Devido ao seu baixo custo, excelentes qualidades mecânicas e facilidade de solda e de conformação, o aço-carbono é o denominado "material de uso geral" em tubulações industriais, isto é, só se deixa de empregar o aço-carbono quando houver alguma circunstancia especial que proíba. Desta forma, todos os outros materiais são usados apenas em alguns casos específicos. Em industrias de processamento, mais de 80% dos tubos são de aço-carbono, que é usado para água doce, vapor de baixa pressão, condensado, ar comprimido, óleos, gases e muitos outros fluídos pouco corrosivos, em temperaturas desde – 45°C, e a qualquer pressão.

Alguns tubos de aço-carbono são galvanizados, ou seja, com um revestimento interno e externo de zinco depositado a quente, com a finalidade de dar maior resistência à corrosão.

A resistência mecânica do aço-carbono começa a sofrer uma forte redução em temperaturas superiores a 400°C, devido principalmente ao fenômeno de deformações permanentes por fluência (creep), que começa a ser observado a partir de 370°C, e que deve ser obrigatoriamente considerado para qualquer serviço em temperaturas acima de 400°C. As deformações por fluência serão tanto maiores e mais rápidas quanto mais elevada for à temperatura, maior for à tensão no material e mais longo for o tempo durante o qual o material esteve submetida à temperatura. (*)

Em temperaturas superiores a 530°C o aço-carbono sofre uma intensa oxidação superficial (scaling), quando exposto ao ar, com formação de grossas crostas de óxidos, o que o torna inaceitável para qualquer serviço contínuo. Deve ser observado que em contato com outros meios essa oxidação pode se iniciar em

temperaturas mais baixas. A exposição prolongada do aço-carbono a temperaturas superiores a 440^{o}C, pode causar ainda uma precipitação de carbono grafitização, que faz a material ficar quebradiço.

Por todas essas razões não se recomenda o usa de aço-carbono para tubos trabalhando permanentemente a mais de 450^{o}C, embora possam ser admitidas temperaturas eventuais ate 550^{o}C, desde que sejam de curta duração e não coincidentes com grandes esforços mecânicos.

Quanto maior for à quantidade de carbono no aço maior será a sua dureza e maiores serão os limites de resistência e de escoamento; em compensação a aumento do carbono prejudica a ductilidade e a soldabilidade do aço. Por esse motivo, em aços para tubos limita-se a quantidade de carbono até 0,35%, sendo que até 0,30% de C a soda é bastante fácil, e até 0,25% de C os tubos podem ser facilmente dobrados a frio.

Os aços-carbono podem ser "acalmados" (killed-steel), com adição de até 0,1% de Si, para eliminar os gases, ou "efervescentes" (rimed-steel), que não contém Si. Os aços-carbono acalmados têm estrutura metalúrgica mais fina e uniforme, sendo de qualidade superior aos efervescentes. Recomenda-se o emprego de aços-carbono acalmados sempre que ocorrerem temperaturas acima de 400^{o}C, ainda que por pouco tempo, ou para temperaturas inferiores a 0^{o}C.

Os aços de baixo carbono (até 0,25%C) têm limite de ruptura da ordem de 31 a 37 kg/mm^2, e limite de escoamento de 15 a 22 kg/mm^2. Para os aços de médio carbono (até 0,35%C) esses valores são respectivamente 37 a 54 kg/mm^2, e 22 a 28 kg/mm^2.

Em temperaturas muito baixas o aço-carbono apresenta um comportamento quebradiço, estando sujeito a fraturas frágeis repentinas. Esse efeito é melhorado quando o aço é de baixo carbono e normalizado para obtenção de uma granulação fina. Por esse motivo, os aços para trabalho em temperaturas inferiores a 0^{0}C devem

ser aços acalmados, com o máximo de 0,3% de carbono, e normalizados para uma granulação fina. Em todos os tubos operando nessa faixa de temperaturas deve ser exigido o ensaio de impacto "Charpy" para verificação de sua ductilidade. A temperatura mínima limite para uso desses aços-carbono pela norma ANSI.B.31(*) é de -50^{0}C, embora raramente sejam empregados em temperaturas abaixo de -45^{0}C.

O aço-carbono quando exposto à atmosfera sofre uma corrosão uniforme (ferrugem), que é tanto mais intensa quanta maiores forem a umidade e a poluição do ar. O contato direto com o solo causa não só a ferrugem como uma corrosão alveolar penetrante, que é mais grave em solos úmidos ou ácidos; esse contato deve por isso ser sempre evitado. O aço-carbono e violentamente atacado pelos ácidos minerais, principalmente quando diluídos ou quentes. O serviço com os álcalis, mesmo quando fortes, é possível ate 70^{0}C, devendo, entretanto, para temperaturas acima de 40^{0}C, ser feito um tratamento térmico de alívio de tensões; temperaturas mais elevadas causam um grave problema de corrosão sob-tensão no aço-carbono. De um modo geral, Os resíduos da corrosão do aço-carbono não são tóxicos, mas podem afetar a cor e o gosto do fluido contido.

1.8 ESPECIFICAÇÕES PARA TUBOS DE AÇO-CARBONO

São as seguintes as principais especificações americanas para tubos de aço carbono:

1. Especificações Para "Tubos Para Condução" (Nomenclatura da "COPANT"), Com ou Sem Costura (welded and seamless pipes):

- ASTM-A-106 - Especificação para tubos sem costura de 1/8" a 24" de diâmetro nominal, de alta qualidade, de aço-carbono acalmado, pare uso em temperaturas elevadas. Essa especificação fixa as exigências de composição química, ensaios e de propriedades mecânicas que o material deve satisfazer. A especificação abrange três graus de material:

Tabela 1

	C% (máx.)	Mn. %	Si % (min.)	Ruptura Kg/mm^2	Escoamento (Kg/mm^2)
Grau A (baixo carbono)	0,25	0,27---0,93	0,10	34	20
Grau A (médio carbono)	0,30	0,29---1,06	0,10	41	24
Grau A (médio Carbono)	0,35	0,29---1,06	0,10	48	27

Os tubos de grau "C", que só devem ser empregados até 200°C, são fabricados apenas, eventualmente, sob encomenda. Para serviços em que haja encurvamento a frio devem ser empregados tubos de grau "A"

Recomenda-se o uso de tubos A-106 quando ocorrerem temperaturas de trabalho acima de 400°C.

- ASTM-A-53 - Especificação para tubos de aço-carbono, de qualidade média, com ou sem costura, de 1/8" a 24" de diâmetro nominal, para uso geral. Essa especificação fixa também as exigências de composição química, de propriedades mecânicas e ensaios que o material deve satisfazer. O aço-carbono par essa especificação não é' sempre acalmada. Os tubos podem ser pretos, isto é, sem acabamento, ou galvanizados.

A especificação distingue 2 graus de material.

- Tubos sem costura ou fabricados por solda de resistência elétrica, aço de baixo carbono, ruptura 33 kg/mm^2, escoamento 20 kg/mm^2 (grau "A").
- Idem, idem, aço de médio carbono, ruptura 41 kg/mm^2, escoamento 24 kg/mm^2 (grau ”B”).

Para encurvamento a frio devem ser usados tubos de grau "A". Embora os limites máximos de temperatura permitidas pela norma ANSI.B.31 para os tubos A-53, graus A e B, sejam os mesmos dos tubos A-106 (graus A e B), Os materiais dessa especificação não devem ser usados em serviço permanente acima de 400^{0}C

Os tubos de acordo com a ASTM-A-53 são mais baratos do que os tubos de acordo com a ASTM-A-106, e por isso representam a maior parte das tubulações de aço-carbono das instalações industriais em geral.

- ASTM-A-120 – Especificação para tubos de aço-carbono, com ou sem costura, pretos ou galvanizados. de qualidade estrutural, de 1/8” a 16” de diâmetro nominal. Essa especificação embora, como as anteriores, fixe as dimensões, tolerâncias, testes de aceitação etc., não prescreve exigências de composição química completa, portanto, o material não tem garantia de qualidade.

A norma ANSI.B.31.3 só permite o emprego desses tubos para os fluidos denominados "categoria D1”, o que inclui fluidos não inflamáveis não tóxicos, em pressões até 10 kg/cm^2, e em temperaturas ate 180^{o}C.(*)

Esses tubos, mais baratos do que os anteriores, são, entretanto, muito usados para água, ar comprimido, condensado e outros serviços de baixa responsabilidade.

Os tubos de aço A-120 não devem ser dobrados a frio e nem empregados para temperaturas acima de 200^{o}C ou abaixo de 0^{o}C.

- ASTM-A-333 (Gr. 6) - Especificação para tubos de aço-carbono, sem costura, especial para baixas temperaturas. O aço para esses tubos tem uma taxa de carbono até 0,3%, e de manganês de 0,4 a 1,05b; é sempre normalizado para refinamento do grão e é submetido ao ensaio de impacto "Charpy" a -46^{0}C.

- API-SL - Especificação do "American Petroleum Institute” para tubos de aço-carbono de qualidade média. Abrange tubos de 1/8" a 64" de diâmetro nominal, pretos, com ou sam costura. Os graus de material, os requisitos de composição química e de propriedades mecânicas são semelhantes aos da especificação ASTM-A-53.

- API-SLX - Especificação para tubos com e sem costura, fabricados com aços-carbono de alta resistência, especiais para oleodutos.

Distinguem-se seis graus de matenal, todos de aços de médio carbono:

Grau X 42	Ruptura:	42 kg/mm²	Escoamento:	29 kg/mm²
Grau X 46		44 kg/mm²		32 kg/mm²
Grau X 52		46 kglmm²		36 kg/mm²
Grau X 60		52 kg/rnm²		42 kg/mm²
Grau X 65		54 kg/mm²		45 kg/mm²
Grau X 70		58 kg/mm²		49 kg/mm²

De acordo com a norma ANSI.B.31, Os tubos desta especificação não devem ser empregados para temperaturas acima de 200°C. A norma ANSI . B .31.1 (tubulações para vapor), proíbe o uso desses tubos para vapor

– Especificações Para Tubos Com Costura (welded pipes):

- ASTM-A-134 -Especificação para tubos fabricados por solda elétrica por arco protegido, para diâmetros acima de 16" e espessuras de parede ate 3/4", com solda longitudinal ou em espiral.

- ASTM-A-135 - Especificação para tubos fabricados por solda de resistência elétrica, para diâmetros até 30". Os tubos de grau "A" tem o limite de ruptura de 33 kg/mm^2 e os de grau B1 de 41 kg/mm^2.

Pela norma ANSI.B.31, os tubos de especificações A-134 e A-135 só são permitidos para os fluidos de "Categoria D".

- ASTM-A-671 - Especificação para tubos fabricados por solda elétrica (arco protegido), para temperatura ambiente e temperaturas baixas, em diâmetros de 12" ou maiores. A especificação abrange 9 classes, designadas de 10 a 32, conforme as exigências de tratamentos térmicos de alivio de tensões e de normalização, radiografia total e teste de pressão. Os tubos são feitos a partir de chapas de aço-carbono acalmado (ASTM-A-515 ou A-516) ou nao-acalmado (ASTM-A-285 Gr C).

- ASTM-A-672 - Especificação para tubos para temperaturas moderadas. O processo de fabricação, faixa de diâmetros e matéria-prima para os tubos de aço-carbono são os mesmos da A-671.

Nota: Os tubos das especificações A-671 e A-672 estavam abrangidos anteriormente pela especificação A-155, que foi suprimida.

- ASTM-A-211 - Especificação para tubos com solda espiral, de 4" a 48" de diâmetro nominal.

1.9 AÇOS-LIGA E AÇOS-INOXIDÁVEIS - CASOS GERAIS DE EMPREGO

Denominam-se "aços-liga" (alloy-steel) todos os aços que possuem qualquer quantidade de outros elementos, além dos que entram na composição dos aços-carbono. Dependendo da quantidade total de elementos de liga, distinguem-se os aços de baixa liga (low alloy-steel), com até 5% de elementos de liga, aços de liga intermediária (intermediate alloy-steel), contendo entre 5% e 10%, e os aços de alta liga (high alloy-steel), com mais de 10%.

Os aços inoxidáveis (stainless steel), são os que contém pelo menos 12% de cromo, o que lhes confere a propriedade de não se enferrujarem mesmo em exposição prolongada a uma atmosfera normal.

Todos as tubos de aços-liga são bem mais caros do que os de aço-carbono, sendo de um modo geral o custo tanto mais alto quanto maior for a quantidade de elementos de liga. Além disso, a montagem e soldagem desses tubos e também mais difícil e mais cara.

Como todas as instalações industriais estão sujeitas a se tornarem obsoletas em relativamente pouco tempo, não é em geral econômico nem recomendável a uso de aços-liga apenas para tornar muito mais longa a vida de uma tubulação.

Os principais casos em que se justifica o emprego dos aços especiais (aços-liga e inoxidáveis), são os seguintes:

a) Altas temperaturas - Temperaturas acima dos limites de uso dos aços-carbono, ou mesmo abaixo desses limites, quando seja exigida grande resistência mecânica, resistência à fluência ou resistência à corrosão.

b) Baixas temperaturas - Temperaturas inferiores a – 45°C, para as quais os aços-carbono ficam sujeitos a fratura frágil.

c) Alta corrosão - Serviços com fluidos corrosivos, mesmo quando dentro da faixa de emprego dos aços-carbono. De um modo geral, os aços-liga e inoxidáveis têm melhores qualidades de resistência à corrosão do que os aços-carbono. Existem, entretanto, numerosos casos de exceção: a água salgada, por exemplo, destrói os aços especiais tão rapidamente como os aços-carbono.

d) Necessidade de não contaminação - Serviços para os quais não se possa admitir a contaminação do fluido circulante (produtos alimentares e farmacêuticos, por

exemplo). A corrosão, ainda que só seja capaz de destruir o material do tubo depois de muito tempo, pode causar a contaminação do fluido circulante, quando os resíduos da corrosão são carregados pela corrente fluida. Por essa razão, nos casos em que não possa haver contaminação, empregam-se muitas vezes os aços especiais, embora do ponto de vista propriamente da corrosão não fossem necessários.

e) Segurança - Serviços com fluidos perigosos (muito quentes, inflamáveis, tóxicos, explosivos etc.), quando seja exigido o máximo de segurança contra possíveis vazamentos e acidentes. Também nesses casos, estritamente devido à corrosão, não seriam normalmente necessários os aços especiais.

No que se refere à corrosão, convém observar que, exceto quando entram em jogo também a não-contaminação ou a segurança, o problema e puramente econômico: quanto mais resistente for o material, tanto mais longa a vida do tubo, portanto, a decisão será tomada como resultado da comparação do custo dos diversos materiais possíveis, com o custo de operação e de paralisação do sistema.

1.10 TUBOS DE AÇOS-LIGA

Existem tubos de duas classes gerais de aços-liga: Os aços-liga molibdênio e cromo-molibdênio, e os aços-liga níquel.

Os aços-liga molibdênio e cromo-molibdênio contém até 1% de Mo e ate 9% de Cr, em diversas proporções, como mostra a Tabela 2, sendo materiais ferríticos (magnéticos), específicos para emprego em temperaturas elevadas. O cromo causa principalmente uma sensível melhoria na resistência a oxidação em altas temperaturas, e na resistência à corrosão em geral, sobretudo aos meios oxidantes, sendo esses efeitos tanto mais acentuados quanto maior for a quantidade de cromo. Por essa razão, esses aços podem ser empregados em temperaturas mais elevadas

do que o permitido para o aço-carbono, como mostram os limites indicados na Tabela 2.

Especificação ASTM e grau Tubos sem costura	Elementos de liga (%)			Limites de temperatura Para serviço contínuo (°C)
	Cr	Mo	Ni	
A-335 Gr. P1	---	½	---	500
A-335 Gr. P5	5	½	---	480
A-335 Gr. P11	1 ¼	½	---	530
A-335 Gr. P22	2 ¼	1	---	530
A-335 Gr. 3	---	---	3 ½	-100
A-335 Gr. 7	---	---	2 ¼	-60

Até a quantidade de 2,5% de Cr, há um ligeiro aumento na resistência à fluência, sendo que percentagens maiores de Cr reduzem de forma acentuada essa resistência (exceto nos aços inoxidáveis austeníticos, contendo níquel). Por esse motivo, os aços-liga com até 2,5% de Cr são específicos para serviços de alta temperatura, com grandes esforços mecânicos e baixa corrosão, para os quais a principal preocupação é a resistência a fluência, enquanto que os aços com maior quantidade de cromo são específicos para serviços em alta temperatura, com esforços mecânicos reduzidos e alta corrosão, onde se deseja principalmente resistência a oxidação ou à corrosão.

O molibdênio é o elemento mais importante na melhoria da resistência a fluência do aço, contribuindo também para aumentar a resistência a corrosão alveolar.

Da mesma forma que as aços-carbono, esses aços-liga estão também sujeitos a fraturas frágeis repentinas quando submetidos a temperaturas muito baixas, não devendo por isso serem empregados em nenhum serviço com temperatura inferior a 0°C.

Os aços-liga Mo e Cr-Mo também se enferrujam, embora mais lentamente do que os aços-carbono. O comportamento desses aços em relação aos ácidos e álcalis é semelhante ao do aço-carbono.

Os materiais com ate 2,5% de Cr são específicos para serviços em altas temperaturas, como por exemplo as tubulações de vapor superaquecido. Os materiais com mais de 2,5% de Cr são muito usados em serviços com hidrocarbonetos quentes, devido à sua alta resistência a corrosão pelos compostos de enxofre contidos nos hidrocarbonetos. Todos esses aços são ainda empregados para serviços com hidrogênio. Nos Sub-títulos (tubulações para vapor, tubulações para hidrocarbonetos e tubulações para hidrogênio), veremos com mais detalhes esses diversos casos específicos de aplicação.

Os aços-liga contendo níquel são materiais especiais para uso em temperaturas muito baixas, sendo a temperatura limite tanto mais baixa quanta maior for a quantidade de níquel, como rnostra a Tabela 2.

Tanto os aços-liga Mo e Cr-Mo como também os aços-liga Ni são materiais difíceis de soldar, exigindo tratamentos térmicos, como será visto no Cap. 14

As principais especificações da ASTM para tubos de aços-liga são as seguintes:
-Tubos sem costura: A-335, para os aços-liga Mo e Cr-Mo, e A-333 para os aços-liga Ni.
-Tubos com costura (de grande diâmetro): A-671 (já citada no item 1.9), para os aços-liga 21/2 Ni e 31/2 Ni, A-672 (também já citada), para o aço-liga 1/2 Mo, e A-691, para os aços-liga Cr-Mo.
O processo de fabricação, faixa de diâmetros e classes de todos os tubos A-671 e A-672, bem como A-691, são os mesmos já vistos no item 1.9.

1.11 TUBOS DE AÇOS INOXIDÁVEIS

Existem duas classes principais de aços inoxidáveis: os austeníticos (não-magnéticos), contendo basicamente 16% a 26% de Cr e 6% a 22% de Ni, e os ferríticos (magnéticos), contendo basicamente 12% a 30% de Cr, sendo os austeníticos o grupo mais importante. A Tabela 3 mostra os tipos de aços inoxidáveis mais empregados para tubos.

Tabela 3

Tipos (denominação do AISI)	Estrutura metalúrgica	Elementos de liga (%)			Limites de Temperatura	
		Cr	Ni	Outros	Máxima	Mínima
304	Austenítica	18	8		600	-255
304L	Austenítica	18	8	C (máx.): 0,003	400	Sem limite
316	Austenítica	16	10	Mo: 2	650	-195
316L	Austenítica	16	10	Mo: 2, C (máx.):0,003	400	-195
321	Austenítica	17	9	Ti: 0,5	600	-195
347	Austenítica	17	9	Nb + Ta: 1	600	-255
405	Ferrítica	12	-	Al: 0,2	470	Zero

Os aços inoxidáveis austeníticos apresentam uma extraordinária resistência a fluência e a oxidação, razão pela qual são bem elevados os valores das temperaturas limites de utilização (como se vê na tabela), exceto para os tipos de muito baixo carbono (304 L e 316 L), em que o imite é de 400°C devido a menor resistência mecânica desses aços. Todos os aços austeníticos mantém o comportamento dúctil mesmo em temperaturas extremamente baixas, podendo alguns serem empregados até próximo de zero absoluto. Esses aços são todos materiais de solda fácil.

Os aços tipos 304, 316 e outros denominados de "não estabilizados", estão sujeitos a uma precipitação de carbonetos de Cr (sensitização), quando submetidos a temperaturas entre 450°C e 850°C, que diminui muito a resistência a corrosão do material, ficando sujeito a uma forma grave de corrosão (corrosão intergranular) em meios ácidos. Esse fenômeno pode ser controlado pela adição de Ti ou Nb (*) (aços “estabilizados”, tipos 321 e 347), ou pela diminuição da quantidade de carbono (aços de muito baixo carbono, tipos 304 L e 316 L).

A presença mesmo de ínfimas quantidades de HCl, cloretos, hipocloritos etc. (íon cloro em geral), pode causar severa corrosão alveolar e sob-tensão em todos os aços inoxidáveis austeníticos, devendo por isso ser sempre evitada.

Os tubos de inoxidáveis austeníticos são usados, entre outros serviços, para: temperaturas muito elevadas, temperaturas muito baixas (serviços criogênicos) serviços corrosivos oxidantes, produtos alimentares e farmacêuticos e outros serviços de não-contaminação, hidrogênio em pressões e temperaturas elevadas etc.

Os aços inoxidáveis ferríticos e martensíticos apresentam, em relação aos austeníticos, bem menor resistência a fluência e a corrosão em geral, assim como menor temperatura de início de oxidação, sendo por isso mais baixas as temperaturas limites de uso. Em compensação, são materiais mais baratos do que os austeníticos e menos sujeitos aos fenômenos de corrosão alveolar e sob-tensão. Esses aços são todos difíceis de soldar e não são adequados a serviços em baixas temperaturas.

A principal especificação da ASTM para tubos de aços inoxidáveis é a A-312, que abrange tubos sem costura e com costura.

1.12 DIÂMETROS COMERCIAIS DOS "TUBOS PARA CONDUÇÃO" DE AÇO

Os diâmetros comerciais dos "tubos para condução" (steel pipes) de aço-carbono e de aços-liga, estão definidos pela norma americana ANSl.B.36.10, e para os tubos de aços inoxidáveis pela norma ANSI.B.36.19. Essas normas abrangem os tubos fabricados por qualquer um dos processos usuais de fabricação

Todos esses tubos são designados por um número chamado "Diâmetro Nominal IPS" (Iron Pipe Size), ou “bitola nominal”. A norma ANSI.B.36.10 abrange tubos desde 1/8" até 36", e a norma ANSl.B.36.19 abrange tubos de 1/8" até 12". De 1/8" até 12" o diâmetro nominal não corresponde a nenhuma dimensão física dos tubos; de 14" até 36", o diâmetro nominal coincide com o diâmetro externo dos tubos.

Para cada diâmetro nominal fabricam-se tubos com varias espessuras de parede. Entretanto, para cada diâmetro nominal, o diâmetro externo é sempre o mesmo variando apenas o diâmetro interno, de acordo com a espessura dos tubos. Por exemplo, os tubos de aço de 8" de diâmetro nominal têm todos um diâmetro externo de 8,625". Quando a espessura deles corresponde a série 20, a mesma vale 0,250", e o diâmetro interno vale 8,125". Para a série 40, a espessura vale 0,322", e o diâmetro interno 7,981"; para a série 80, a espessura vale 0,500", e o diâmetro interno 7,625"; para a série 160, a espessura vale 0,906", e a diâmetro interno 6,813", e assim por diante. A Fig 8 mostra as seções transversais de três tubos de 1" de diâmetro nominal, com diferentes espessuras.

A lista completa de 1/8" até 36" inclui um total de cerca de 300 espessuras diferentes. Dessas todas, cerca de 100 apenas são usuais na prática, e são fabricadas correntemente; as demais espessuras fabricam-se por encomenda. Os diâmetros nominais padronizados pela norma ANSI.B.36.10 são os seguintes: 1/8" 1(4", 3/8", 1/2", 3/4'!, 1", 11/4", 11/2", 2", 21/2", 3", 31/2",4",5",6",8", 10", 12", 14", 16", 1 S", 20", 22", 24", 26", 30" e 36”.(*)

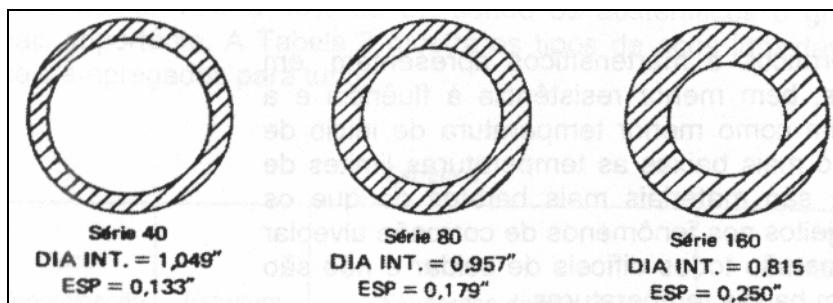



Fig. 8 - Seções transversais em tubos de 1" de diâmetro nominal. (Diâmetro externo 3,34 cm = 1,315 pol.)

Os diâmetros nominais de 11/4", 21/2", 31/2" e 5", embora constem nos catálogos, são pouco usados na prática, os tubos de diâmetros acima de 36" não são padronizados, sendo fabricados apenas por encomenda, e somente com costura, pelos processos de fabricação por solda.

A normalização dimensional das normas ANSI.B.36.10 e 36.19, que acabamos de descrever, foi adotada pela norma brasileira P-PB-225.

Para os tubos sem costura os comprimentos nunca são valores fixos, porque dependem do peso do lingote de que é feito o tubo, variando na prática entre 6 e 10 m, embora existam tubos com comprimento de até 16 m. Os tubos com costura podem ser fabricados em comprimentos certos predeterminados; como, entretanto, essa exigência encarece os tubos sem vantagens para o uso corrente, na prática esses tubos tem também quase sempre comprimentos variáveis de fabricação ("random lenghts").

Os tubos de aço são fabricados com três tipos de extremidade, de acordo com o sistema de ligação a ser usado (como veremos no Cap. 2, a seguir):

- \- Pontas lisas, simplesmente esquadrejadas.
- \- Pontas chanfradas, para usa com solda de topo.
- \- Pontas rosqueadas (rosca especificação API-SB e ANSI.B.2.1)

Os tubos com extremidades rosqueadas costumam ser fornecidos com uma luva. A Fig. 9 mostra as tipos de extremidades de tubos.

Fig. 9 - Tipos de extremidades de tubos de aqo.

Fora da norma ANSI.B.36.10 fabricam-se ainda as seguintes séries principais de tubos de aço:

- Tubos de chapa calandrada com costura de solda longitudinal por arco protegido, fabricados em diâmetros de até. 80", com chapas de 3/16" a 3/4" de espessura, dependendo do diâmetro. Diâmetros maiores podem ser obtidos sob encomenda.
- Tubos com solda em espiral, fabricados de 4" ate 120" de diâmetro, com chapas de 1/16" a 1/2" de espessura. Esses tubos, bem mais baratos do que os demais tubos de aço, são usados principalmente para tubulações de baixa pressão, acima do solo, para água e gás.

1.13 ESPESSURAS DE PAREDE DOS "TUBOS PARA CONDUÇÃO" DE AÇO

Antes da norma ANSI.B.36.10 os tubos de cada diâmetro nominal eram fabricados em três espessuras diferentes conhecidas como: "Peso normal" (Standard - S). "Extraforte (Extra-strong - XS), e "Duplo Extraforte" (Double extra-strong - XXS). Estas designações, apesar de obsoletas, ainda estão em uso corrente. Para os tubos de peso normal ate 12", o diâmetro interno é aproximadamente igual ao diâmetro nominal.

Pela norma ANSI.B.36.10, foram adotadas as "séries" (Schedule Number) para designar a espessura (ou peso) dos tubos. O número de série é um número obtido aproximadamente pela seguinte expressão:

$$\text{Série} = \frac{1.000\,P}{S}$$

em que P = pressão interna de trabalho em psig; S = tensão admissível do material em psi.

A citada norma padronizou as séries 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160, sendo que, para a maioria dos diâmetros nominais, apenas algumas dessas espessuras são fabricadas. A série 40 corresponde ao antigo "peso normal" nas diâmetros até 10” e são as espessuras mais comumente usadas na prática, para os diâmetros de 3" ou maiores. Para as tubos acima de 10", a série 40 é mais pesada do que o antigo peso normal. Para as tubos até 8”, a série 80 corresponde ao antigo XS. Fabricam-se ainda tubos até 8" com a espessura XXS, que não têm correspondente exato nos números de série, sendo próximo da série 160.

Para diâmetros pequenos, até 2", é usual na prática especificarem-se apenas tubos de parede grossa (séries 80 ou 160) para que o tubo tenha resistência estrutural própria, simplificando assim os suportes e reduzindo a ocorrência de vibrações.

1.14 DADOS PARA ENCOMENDA OU REQUISIÇÃO DE TUBOS

Os "tubos para condução" são sempre referidos ao seu diâmetro nominal.

Para a encomenda ou requisição de tubos os seguintes dados devem ser indicados: Quantidade (em unidades de comprimento ou de peso), diâmetro nominal, espessura de parede ou número de série, norma dimensional que deva ser obedecida, descrição completa do material (especificação e grau), processos de fabricação e de acabamento, tipo de extremidades (lisa, chanfrada, rosqueada etc.),

especificação do chanfro ou da rosca, tipo de acabamento externo ou de revestimento interno, se houverem.

Exemplo: 10.000 kg, 10"+, Série 40, ANSI.B.36.10, ASTM-A-53.Gr.B, sem costura, extremidades chanfradas de acordo com ANSI.B.16.25, pretos.

1.15 TUBOS DE AÇO FABRICADOS NO BRASIL

São as seguintes, em resumo, as principais linhas de fabricação de tubos de aço no Brasil (tubos para condução):

1. Tubos sem Costura:

– Tubos pretos, com pontas lisas ou chanfradas, de 1/2" a 10”, de acordo com as especificações ASTM-A-106, ASTM-A-53, API-SL, API-5LX, ASTM-A-333 (Graus 1, 3, 6, 7), ASTM-A-335 (Graus PI, P2, P5, P7, P11, P12, P21, P22).
– Tubos pretos ou galvanizados, com rosca e luva, de 1/2" a 10", Séries 40 e 80, de acordo com a especificação ASTM-A-120.
– Tubos pretos, pesados, para vapor, com rosca e luva, de aço comum, de 3/8" a 8", de acordo com a norma DIN-2441.
– Tubos pretos ou galvanizados, leves, para água, ar ou gás, com rosca e luva, de 3/8" a 8", de acordo com a norma DIN-2440.

2. Tubos com Costura de Solda Longitudinal por Arco Protegido:

– Tubos pretos, com pontas chanfradas, de 12" a 64", de acordo com as especificações API-5L, API-5LX, ASTM A-134, ASTM A-139, ASTM A-155 e ASTM A-252.

3. Tubos com Costura de Solda Longitudinal por Resistência Elétrica:

– Tubos pretos, com pontas lisas, chanfradas ou rosqueadas, de até 64", de acordo com as especificações API-5L, API-5LX, ASTM A-53, ASTM A-120, ASTM A-135 e ASTM A-252.

– Idem, galvanizados, com pontas rosqueadas, ate 12", de acordo com a especificação ASTM A-120.
– Tubos de aços inoxidáveis ASTM-A-312, ate 4".

4. Tubos com Costura de Solda em Espiral:

– Tubos pretos, com pontas chanfradas, de 18" a 80", de acordo com as especificações API-5LS, ASTIVI A-134, ASTM A-139, ASTM A-211, ASTM A-252, e com diversas especificações da AWWA (American Water Works Association).

1.16 TUBOS DE FERRO FUNDIDO E DE FERRO FORJADO

Os tubos de ferro fundido são usados para água, gás, água salgada e esgoto, em serviços de baixa pressão, temperatura ambiente, e onde não ocorram grandes esforços mecânicos. Esses tubos têm boa resistência à corrosão, principalmente a corrosão do solo, e grande duração. Os tubos de boa qualidade são fabricados por fundição centrifugada.

No Brasil há vários fabricantes de tubos de ferro fundido, que fabricam tubos de 2" até 24” de diâmetro externo (500mm a 500mm) com extremidades lisas, de ponta e bolsa, rosqueadas, e com flanges integrais, de acordo com as normas EB43 e P-EB-137 da ABNT. Esses tubos sic testados para pressões até 30 kg/cm^2.

Os tubos de ferro forjado são conhecidos no comércio como de “ferro galvanizado" pelo fato de serem quase sempre galvanizados. Empregam-se esses tubos em tubulações industriais secundarias, de baixas pressões e temperaturas, para água, ar comprimido, condensado etc; são também os tubos comumente usados em

instalações prediais de água e gás. Esses tubos são fabricados pelos processos de solda de pressão e solda de resistência elétrica, até 4", nos mesmos diâmetros e espessuras de parede dos tubos de aço. Os tubos de ferro forjado tem baixa resistência mecânica e boa resistência a corrosão, equivalente à do ferro fundido e bem melhor do que a do aço-carbono. Esses tubos resistem muito bem ao contato com a água, a atmosfera e o solo.

Fabricam-se também tubos de ferro fundido nodular e de ferros-ligados (ferro fundido com adição de Si, Cr ou Ni); esses materiais tem melhores qualidades mecânicas e maior resistência a corrosão do que a ferro fundido comum, sendo, entretanto, consideravelmente mais caros. O ferro-silício, por exemplo, que é a mais comum dessas ligas, pode chegar a conter até 14% de Si; é um material muito duro, resistindo muito bem ao ataque da maioria dos ácidos e com excepcional resistência a abrasão.

A norma ANSI.B.31 só permite o uso de tubos fundido para hidrocarbonetos e outros fluidos inflamáveis, dentro de unidades de processo, em tubulações enterradas, para temperaturas ate 150^{o}C e pressões ate 10 kg/cm^2; em outros locais, a pressão permitida poderá ir até 27 kg/cm^2. A mesma norma proíbe o uso desses tubos para fluidos tóxicos em quaisquer condições, (tubulações "Categoria M") bem como para serviços em temperaturas inferiores a zero ^{o}C.

1.17 TUBOS DE METAIS NÃO FERROSOS

Fazendo-se uma comparação geral entre os metais não-ferrosos e o aço-carbono, podemos dizer que os metais não-ferrosos tem bem melhor resistência a corrosão e preço mais elevado; a maioria desses metais tem, em relação ao aço-carbono, menor resistência mecânica e menor resistência as altas temperaturas, apresentando, entretanto, muito melhor comportamento em baixas temperaturas. Devido principalmente ao seu alto custo, os tubos de metais não-ferrosos são pouco usados. Para muitos serviços corrosivos os metais não-ferrosos tem sido

ultimamente substituídos pelos materiais plásticos, com vantagens de preço e de resistência a corrosão.

1. Cobre e suas ligas - Fabricam-se tubos de uma grande variedade desses materiais, incluindo cobre comercialmente puro, e diversos tipos de latões e de cupro-níquel.

Esses tubos têm excelente resistência ao ataque da atmosfera, da água (inclusive água salgada) dos álcalis dos ácidos diluídos, de muitos compostos orgânicos, e de numerosos outros fluídos corrosivos. As ligas de cobre estão sujeitas a severo efeito de corrosão sob-tensão quando em contato com amônia, aminas e outros compostos nitrados. Todos esses materiais podem ser empregados em serviço contínuo desde 180^{o}C ate 200^{o}C.

Devido ao alto coeficiente de transmissão de calor os tubos de cobre e de latão são muito empregados em serpentinas, e como tubos de aquecimento e de refrigeração. Em diâmetros pequenos (ate 2"), os tubos de cobre são também muito empregado para água, ar comprimido, óleos, vapor de baixa pressão, serviços de refrigeração, e para transmissão de sinais de instrumentação.

Os tubos de cobre e de suas ligas não devem ser empregados para produtos alimentares ou farmacêuticos pelo fato de deixarem resíduos tóxicos pela corrosão.

As principais especificações da ASTM para esses tubos são:

Tubos de cobre:	B- 88
Tubos de latão	B-111
Tubos de cupro-niquel	B – 466

2. Alumínio e suas ligas - Os tubos desses metais são muito leves (cerca de 1/3 do peso do aço), têm alto coeficiente de transmissão de calor, e tem muito boa

resistência ao contato com a atmosfera, a água, e muitos compostos orgânicos, inclusive ácidos orgânicos. Os resíduos resultantes da corrosão não são tóxicos.

A resistência mecânica do alumínio é baixa; pode entretanto ser melhorada pela adição de pequenas quantidades de Fe, Si, Mg e outros metais. Tanto o alumínio como as suas ligas podem trabalhar em serviço continuo desde – 270^{o}C ate 200^{o}C. É notável principalmente o seu comportamento em temperaturas extremamente baixas, sendo o alumínio o material de menor custo que pode ser usado em temperaturas criogênicas.

Os tubos de alumínio são empregados para sistemas de aquecimento e de refrigeração, serviços criogênicos e serviços de não-contaminação.

As principais especificações da ASTM para esses tubos são a B-241 (tubos para condução).

3. Chumbo - Os tubos de chumbo são macios, pesados, tem muito baixa resistência mecânica, mas apresentam excepcional resistência à corrosão, resistindo muito bem à atmosfera, ao solo, as águas (inclusive salgadas e aciduladas), aos álcalis, aos halogenos, e a numerosos outros meios corrosivos. O chumbo é dos raros materiais metálicos que pode trabalhar com acido sulfúrico em qualquer concentração. A temperatura limite de trabalho, dependendo da liga, vai de 120^{o}C a 200^{o}C.

Os tubos de chumbo são empregados principalmente para tubulações de esgoto, sem pressão, tanto prediais como industriais.

4. Níquel e suas ligas - São os seguintes os principais materiais dessa classe empregados na fabricação de tubos: Níquel comercial, metal Monel (67% Ni 30% Cu), Inconel (80% N, 13% Cr). Todo esses materiais apresentam simultaneamente excepcional resistência a corrosão e muito boas qualidades

mecânicas e de resistência as temperaturas tanto elevadas como muito baixas. Além de resistirem muito bem aos meios corrosivos usuais, podem também ser empregados para serviços com vários ácidos diluídos e alcalis quentes. O mais usual desses materiais é o metal Monel, que é empregado para tubulações de água salgada, de ácido sulfúrico diluído, de ácido clorídrico diluído, de álcalis aquecidos, e de outros serviços corrosivos ou de não-contaminação. Para serviços oxidantes os limites de temperatura são de 550°C pare a metal Monel, 1.050°C para o níquel, e 1.100°C para o Incoloy; o limite de baixa temperatura é de – 200°C para todas as ligas de Ni. O custo muito elevado desses materiais restringe o seu uso a poucos casos especiais.

5. Titânio, Zircônio e suas ligas - Esses materiais eram considerados até há pouco tempo como metais raros, quase curiosidades de laboratório, Atualmente esses metais têm emprego industrial corrente, e um grande futuro, embora os seus preços ainda estejam extremamente elevados.

Esses metais têm propriedades extraordinárias tanto de resistência a corrosão, como resistência às temperaturas e qualidades mecânicas; além disso o peso específico é cerca de metade do peso dos aços. O comportamento em relação a numerosos meios fortemente corrosivos é melhor do que a dos aços inoxidáveis e das ligas de níquel.

1.18 DIÂMETROS E ESPESSURAS DOS TUBOS NÃO-FERROSOS

Os tubos de cobre, latão, cupro-níquel, alumínio e suas ligas, são fabricados em duas séries de diâmetros e espessuras:

1. Diâmetros de 1/4" a 12", medidos pelo diâmetro externo, e com espessuras de acordo com os calibres BWG, ou em decimais de polegada. Esse é o sistema mais comum de se encontrar esses tubos. Os tubos de cobre fabricam-se em 3 espessuras mais usuais, conhecidas coma K, L e M, senda a K a mais pesada.

2. Diâmetros nominais de 1/2" a 12" (IPS) e espessuras séries 20 e 40, como para as tubos de aço.

Os tubos de chumbo são fabricados em diâmetros de 1/4" a 12", medidos pelo diâmetro interno, em várias espessuras, e vendidos em rolos.

Os tubos de cobre são encontrados em barras rígidas de 6 m de comprimento, ou em rolos. Os tubos de latão e de alumínio, são encontrados apenas em barras rígidas geralmente com 6 m de comprimento.

No Brasil fabricam-se tubos extrudados de cobre, latão e alumínio de 1/8" a 5” de diâmetro externo, com espessuras de parede de 1/16" a 1/8". Os tubos de cobre estão padronizados na norma P-EB-64 da ABNT.

1.19 TUBOS NÃO-METÁLICOS

Fabricam-se tubos de uma grande variedade de materiais não-metálicos, dos quais os mais importantes são os seguintes:

1. Materiais plásticos - Para tubulações industriais é esse atualmente o grupo mais importante dos materiais não-metálicos; por essa razão veremos separadamente nos itens a seguir com mais detalhes.

2. Cimento-amianto - Os tubos de cimento-amianto (transite) são fabricados de argamassa de cimento e areia com armação de fibras de amianto. A resistência mecânica é pequena, só podendo ser usados para baixas pressões e onde não estejam sujeitos a grandes esforços externos. O cimento-amianto tem excelente resistência a atmosfera, ao solo, as águas neutras e alcalinas, a água salgada, aos álcalis, aos óleos e aos compostos orgânicos em geral. Para a maioria desses meios o material é completamente inerte, resistindo por tempo indefinido. Os ácidos, águas ácidas e soluções ácidas atacam fortemente o cimento-

amianto, que não deve ser usado para esses serviços. O principal emprego dos tubos de cimento-amianto é para tubulações de esgotos. O custo desses tubos é bem menor do que de outros que os poderiam substituir, como, por exemplo, os de materiais plásticos ou de metais não-ferrosos.

Existem tubos de cimento-amianto ate 36" de diâmetro, para pressões até 13kg/cm^2.

No Brasil fabricam-se tubos de cimento-amianto de dois tipos:

– Tubos de pressão, de 50 mm a 400 mm, nas classes 10, 15 e 20 para pressões de serviço de 5, 7,5 e 10 kg/cm^2 respectivamente, de acordo com a norma ES-109 da ABNT.
– Tubos de esgoto, de 50 mm a 500 mm, tipo leve, para tubulações não enterradas, e tipo normal, para tubulações enterradas, todas para serviços sem pressão, de acordo com a norma EB-69 da ABNT.

3. Concreto armado - Os tubos de concreto armado são empregados principalmente para tubulações importantes (de grande diâmetro) de água e de esgoto. A resistência a corrosão e equivalente à dos tubos de cimento-amianto, sendo a resistência mecânica bem maior.

Existem três classes de tubos de concreto armado:
– Tubos com armação de vergalhões de aço colocados longitudinal e transversalmente, ou com armação de tela de aço. São usados para baixas pressões (ate. 7 kg/cm^2) e pequenas sobrecargas.
– Tubos cuja armação é um tubo de chapa de aço embutido no concreto, tendo também a função de garantir a estanqueidade. Empregam-se para pressões ate 10 kg/cm^2, ou para pressões menores em serviços em que se queira garantia de estanqueidade.
– Tubos de concreto pretendido, com armação de arame de aço de alta resistência, enrolado em espiral sob forte tensão, de forma a colocar o concreto em

compressão permanente. Esses tubos têm também uma armação secundaria de tubo de chapa de aço, para garantir a estanqueidade. São os tubos de melhor qualidade, empregados para pressões até 40 kg/cm^2, em serviços de responsabilidade e com fortes sobrecargas.

Os tubos de concreto armado são fabricados quase todos por fundição centrifugada e vibrada, com diâmetros a partir de 25 cm ate 350 cm, e com comprimentos geralmente de 1 m a 2 m. Esses tubos estão padronizados na norma EB-103 da ABNT.

4. Barro vidrado - Os tubos de barro vidrado, também chamados de "manilhas", têm excelente resistência à corrosão, sendo inertes em relação ao solo, à atmosfera e a maioria dos fluidos corrosivos. A resistência mecânica é baixa, sendo entretanto um pouco melhor do que a dos tubos de cimento-amianto. As manilhas são empregadas quase exclusivamente para tubulações de esgoto, e são fabricadas em comprimentos curtos (1 m aprox.) com diâmetros nominais de 50 a 500 mm, e com extremidades de ponta e balsa. Os tubos de barro vidrado estão padronizados na norma EB-S da ABNT

5. Vidro, Cerâmica - São tubos de uso e de fabricação raros, empregados apenas em serviços especiais de alta corrosão ou quando se exija absoluta pureza do fluido circulante. O vidro é o material de melhor resistência que existe a todos os meios corrosivos. Os tubos de vidro e de cerâmica são empregados apenas em diâmetros pequenos, ate 10cm no máximo.

Borrachas – Fabricam-se tubos de muitos tipos de borrachas, naturais e sintéticas, para várias faixas de pressões e temperaturas. A maioria dos tubos de borracha são flexíveis (mangueiras e mangotes), sendo empregados justamente quando se deseja essa propriedade. Para serviços severos, os tubos costumam ter reforço de uma ou várias lonas, vulcanizadas na borracha, e freqüentemente tem também armação de arame de aço enrolado em espiral.

Existem numerosas borrachas, naturais e sintéticas, que recebem o nome genérico de "elastômeros". Embora esses materiais tenham propriedades diferentes e freqüentemente específicas, têm todos, como característica principal, a extraordinária elasticidade, fazendo com que atinjam a ruptura com uma deformação elástica muito grande (300 a 700%), sem que hajam deformações permanentes. Os limites de temperatura de serviço vão de – 50° até 60° a 100°C. Algumas borrachas são bons combustíveis, outras se queimam lentamente.

Da mesma forma que os plásticos, a maioria das borrachas sofre uma deterioração em conseqüência de longa exposição à luz solar, tornando-se quebradiças. A adição de negro-de-fumo melhora a resistência à luz e aumenta também a resistência ao desgaste superficial.

A borracha natural resiste bem às águas (inclusive ácidas e alcalinas), aos ácidos diluídos, aos sais e a numerosos outros meios corrosivos. É atacada pelos produtos do petróleo e por vários solventes e compostos orgânicos. Dentre as borrachas sintéticas são mais importantes o neoprene e o SBR (estireno-butadieno). O neoprene resiste aos produtos de petróleo. O SBR é uma borracha sintética econômica, de uso geral, com propriedades semelhantes à borracha natural.

Fabricam-se tubos de borracha até 40 cm de diâmetro nominal.

1.20 TUBOS DE MATERIAIS PLÁSTICOS

Os materiais plásticos sintéticos são atualmente o grupo mais importante dos materiais não-metálicos utilizados em tubulações industriais. O emprego desses materiais tem crescido muito nos últimos anos, principalmente como substituto para os aços inoxidáveis e metais não-ferrosos. O aumento constante dos preços desses metais e o aperfeiçoamento contínuo dos plásticos tendem a tornar maior ainda a expansão do emprego desses obtemos.

De um modo geral os plásticos apresentam as seguintes vantagens:

- Pouco peso, densidade variando entre 0,9 e 2,2.
- Alta resistência à corrosão.
- Coeficiente de atrito muito baixo.
- Facilidades de fabricação e de manuseio (podem ser cortados com serrote).
- Baixa condutividade térmica e elétrica.
- Cor própria e permanente que dispensa pintura da boa aparência, e permite que se adotem códigos de cores para identificação das tubulações.
- Alguns plásticos podem ser translúcidos, permitindo a observação visual da circulação dos fluidos pelos tubos.

Em compensação, as desvantagens são as seguintes:

Baixa resistência ao calor; essa é a maior desvantagem. Apesar dos grandes progressos que têm sido conseguidos, a maioria desses materiais não pode trabalhar em temperaturas superiores a 100^{o}C.

- Baixa resistência mecânica; o limite de resistência à tração é da ordem de 2 a 10 kg/mm^2 para a maioria dos plásticos. Alguns plásticos termoestáveis (veja a seguir), laminados em camadas sucessivas de resina plástica e de fibras de vidro apresentam melhor resistência mecânica, embora sempre bem inferior ao aço-carbono.
- Pouca estabilidade dimensional, estando sujeitos a deformações por fluência em quaisquer temperaturas (cold-creep).
- Insegurança nas informações técnicas relativas a comportamento mecânico e a dados físicos e químicos. A margem de erro que se pode esperar nessas informações sobre os materiais plásticos e bem maior do que nas relativas aos metais.

- Alto coeficiente de dilatação, até 15 vezes o do aço-carbono.
- Alguns plásticos são combustíveis ou pelo menos capazes de alimentar vagarosamente a combustão.

Distinguem-se duas classes gerais de plásticos: Os termoplásticos (thermoplastics) e os termoestáveis (thermosettings). Os primeiros amolecem completamente, com a aplicação do calor, antes de sofrerem qualquer decomposição química, podendo por isso serem repetidas vezes amolecidos, moldados e reempregados. Os termoestáveis, pelo contrário, não podem ser conformados pelo calor.

De um modo geral as plásticos resistem muito bem aos ácidos minerais diluídos, aos álcalis (mesmo quando quentes), aos halogenos, as soluções salinas e ácidas, a água salgada e a numerosos outros produtos químicos. Não há praticamente ataque algum com a atmosfera e a água. Os plásticos podem ser usados em contato direto com o solo, mesmo no caso de solos úmidos ou ácidos. Raramente há contaminação do fluido circulante; os plásticos não produzem resíduos tóxicos.

A maioria dos plásticos é atacada pelos ácidos minerais altamente concentrados. O comportamento em relação aos compostos orgânicos é variável: os hidrocarbonetos e os solventes orgânicos dissolvem alguns dos plásticos.

É importante observar que, de um modo geral, os materiais plásticos têm um comportamento quanto à corrosão inteiramente diferente dos metais, porque com os plásticos não há o fenômeno de corrosão lenta e progressiva, característica dos metais. Por essa razão, ou o plástico resiste indefinidamente ao meio corrosivo, ou é por ele rapidamente atacado e destruído não tendo, portanto sentido a aplicação de sobre-espessuras para corrosão. A destruição dos materiais plásticos ocorre por dissolução ou por reação química direta.

Quase todos os plásticos sofrem um processo de decomposição lenta quando expostos por longo tempo à luz solar, em virtude da ação dos raios ultravioleta,

tornando-se quebradiços (wheatering). A adição de pigmentos escuros ao plástico melhora bastante a sua resistência a esse efeito. Recomenda-se por isso que os plásticos que devam ficar permanentemente ao tempo tenham pigmento de negro-de-fumo.

Pelo seu conjunto de vantagens e desvantagens, os materiais plásticos são usados principalmente para serviços de temperatura ambiente ou moderada, e baixos esforços mecânicos, simultâneos com a necessidade de grande resistência a corrosão. Não podem ser empregados para tubulações, cuja avaria ou destruição por um incêndio próximo possam causar graves prejuízos ou acidentes, ainda que essas tubulações trabalhem frias. É o caso, por exemplo, das redes de incêndio, por onde circula água fria.

Os materiais termoplásticos são muito empregados para pequeno e médio diâmetros, enquanto que os termoestáveis são preferidos para as tubulações de grande diâmetro.

A norma ANSI.B.31 permite o uso de materiais plásticos para fluidos de "categoria D" e para tubulações de água e de produtos químicos não-inflamáveis em centrais de geração de vapor.

1.21 PRINCIPAIS MATERIAIS PLÁSTICOS PARA TUBULAÇÃO

São os seguintes os plásticos mais importantes para tubulações:

1. Polietileno - É o mais leve e o mais barato dos materiais termoplásticos, tendo excelente resistência aos ácidos minerais: aos álcalis e aos sais. É um material combustível, com fraca resistência mecânica (2,0 a 3,5 kg/mm^2), e cujos limites de temperatura vão de - 38^o a 80^o, dependendo da especificação. O polietileno é usado para tubos de baixo preço, para pressões moderadas. No Brasil fabricam-

se tubos flexíveis de 1/2" a 4" pela norma P-ES195, e tubos rígidos de 110 a 1400 mm, nas classes 2,5; 3,2; 4,0,6,0 e 10,0 kg/cm^2.

2. Cloreto de polivinil (PVC) - É um dos termoplásticos de maior uso industrial. A resistência à corrosão é em geral equivalente a do polietileno, mas as qualidades mecânicas são sensivelmente melhores e a resistência a temperatura é um pouco maior (- 20^o a 130^{o}C). Embora esse material possa ser queimado, a chama formada extingue-se espontaneamente. Os tubos rígidos de PVC são muito empregados para tubulações de águas, esgotos, ácidos, álcalis e outros produtos corrosivos. A fabricação desses tubos no Brasil abrange os diâmetros de 1/2" a 10", nas espessuras séries 40 e 80 com extremidades rosqueadas ou lisas, de acordo com a norma P-EB-183. Fabricam-se também aqui tubos de PVC rígidos, com revestimento externo em camadas sucessivas de resina poliéster e fibras de vidro enroladas (“filament winding"), de 25 a 400 mm de diâmetro, para serviços severos com fluidos corrosivos. Esses tubos são fabricados em duas classes de pressão (classe 20, para 10 kg/cm^2) e classe 32, para 16 kg/cm^2), com extremidades lisas, com bolsas, ou com flanges integrais.

3. Acrílico butadieno-estireno (ABS), Acetato de celulose – São materiais termoplásticos de qualidades semelhantes as do PVC, usados para tubos rígidos de pequenos diâmetros. Ambos são materiais combustíveis.

4. Hidrocarbonetos fluorados - Essa designação inclui um grupo de termoplásticos não-combustíveis, com excepcionais qualidades de resistência a corrosão e também ampla faixa de resistência a temperatura, desde - 200^o a 260^{o}C. Esses materiais têm entretanto preço muito elevado e bastante baixa resistência mecânica, o que limita o uso apenas a tubos pequenos sem pressão. O mais conhecido desses plásticos é o denominado "Teflon", muito empregado para revestimentos de tubos de aço e para juntas em serviços de alta corrosão.

5. Epoxi - É um material termoestável de muito uso para tubos de grande diâmetro (ate 900 mm), com extremidades lisas ou com flanges integrais. Os tubos tem a parede de construção laminada, em camadas sucessivas da resina plástica e de fibras de vidro enroladas, para melhorar á resistência mecânica (tubos denominados “FRP” - Fiberglass reinforced plastic). O epoxi é um material plástico de muito boa resistência à corrosão, queima-se lentamente e pode ser empregado em temperaturas ate 150^{o}C.

6. Poliésteres, fenólicos - Todos esses materiais termoestáveis de características semelhantes ao epóxi. Os fenólicos podem trabalhar até 150^{o}C.

Os tubos desses materiais têm também ampla faixa de diâmetros e construção laminada, com armação de fibras de vidro (tubos “FRP”). Essas resinas são também empregadas para reforçar externamente tubos de PVC, coma já foi dito.

1.22 TUBOS DE AÇO COM REVESTIMENTOS INTERNOS

Quando a natureza do serviço exigir grande resistência à corrosão e/ou abrasão, simultaneamente com grande resistência mecânica ou alta pressão, a solução mais econômica, e às vezes a única, é o emprego de tubos de aço com um revestimento interno. De um modo geral, é mais barato um tubo de aço com revestimento interno do que um tubo integral de material resistente à corrosão, que teria de ter, quando fosse possível de ser fabricado, paredes de muita espessura para resistir à alta pressão. Deve-se, contudo, observar que algumas vezes são corrosivos, não só o fluido conduzido no tubo, como também a atmosfera ambiente ou o solo; nesses casos, os tubos com revestimento interno evidentemente não se aplicam.

Para diâmetros grandes, acima do limite de fabricação dos tubos do material de revestimento, a solução será também o emprego de tubos com revestimento interno.

São empregados como materiais de revestimento: concreto, plásticos, borrachas, grafita, porcelana, borracha, asfalto, etc.

Os tubos com revestimento de concreto, muito empregados em tubulações de água salgada, são os mais importantes dessa classe. A camada de concreto, que costuma ter 0,6 cm a 1,2 cm de espessura, é colocada automaticamente por centrifugação dentro do tubo. Em tubos de mais de 20" solda-se, por dentro da parede, uma tela de aço para melhorar a aderência do concreto e evitar trincas ou desprendimentos de pedaços do revestimento.

Outros tipos importantes de revestimentos internos em tubos de aço, são os revestimentos de plásticos e de borrachas. Os revestimentos de plásticos (teflon, epoxi, fenólicos etc.), e os de borrachas duras são empregados para tubulações conduzindo água salgada, ácidos, álcalis, sais e outros produtos químicos, enquanto que os revestimentos de borrachas macias são usados para tubulações de fluidos abrasivos.

Em serviços de alta corrosão é de essencial importância que o revestimento seja absolutamente perfeito e contínuo, porque qualquer falha (trinca, bolha, arranhão etc.) ou descontinuidade que haja, resultará em um ponto de corrosão localizada, que poderá perfurar a parede do tubo mais rapidamente do que a corrosão uniforme que haveria se o tubo não tivesse revestimento algum. Por esse motivo, devem ser tomados todos os cuidados na aplicação e na inspeção do revestimento para garantir a perfeição necessária.

2 MEIOS DE LIGAÇÃO DE TUBOS

2.1 PRINCIPAIS MEIOS DE IIGAÇÃO DE TUBOS

Os diversos meios usados para conectar tubos, servem não só para ligar as varas de tubos entre si, como também para ligar os tubos às válvulas, aos diversos acessórios, e aos equipamentos (tanques, bombas; vasos, etc.).

Os principais meios de ligação de tubos são os seguintes:

- Ligações rosqueadas (screwed joints).

- Ligações soldadas (welded joints).

- Ligações flangeadas (flanged joints).

- Ligações de ponta e bolsa (bell and spigot joints).

- Outros sistemas de ligação: ligações de compressão, ligações patenteadas etc.

Vários outros tipos existem de ligações de tubos. A escolha do meio de ligação a usar depende de muitos fatores entre os quais: material e diâmetro do tubo, finalidade e localização da ligação, custo, grau de segurança exigido, pressão e temperatura de trabalho, fluido contido, necessidade ou não de desmontagem etc.

É importante observar que na maioria das vezes usam-se, na mesma tubulação, dois sistemas de ligação diferentes: um para as ligações correntes ao longo da tubulação, onde a maior preocupação é o baixo custo e a segurança contra vazamentos, e outro para ligar as extremidades da tubulação nas válvulas, tanques, bombas, vasos e outros equipamentos, onde se deseja principalmente a facilidade de desmontagem. É comum também o emprego, para o mesmo serviço e mesmo material, de sistemas de ligação diferentes: um para os tubos de pequeno diâmetro e outro para os tubos de grande diâmetro.

2.2 LIGAÇÕES ROSQUEADAS

As ligações rosqueadas são um dos mais antigos meios de ligação usados para tubos. Em tubos de pequeno diâmetro essas ligações são de baixo custo e de fácil

execução; o diâmetro nominal máximo de uso corrente é de 2", embora haja fabricação de tubos com extremidades rosqueadas e de peças de ligação até 4”, ou maiores ainda.

Para a ligação das varas de tubo entre si empregam-se dois tipos de peças, as luvas e as uniões (Fig. 10), todas com rosca interna para acoplar com a rosca externa da extremidade dos tubos.

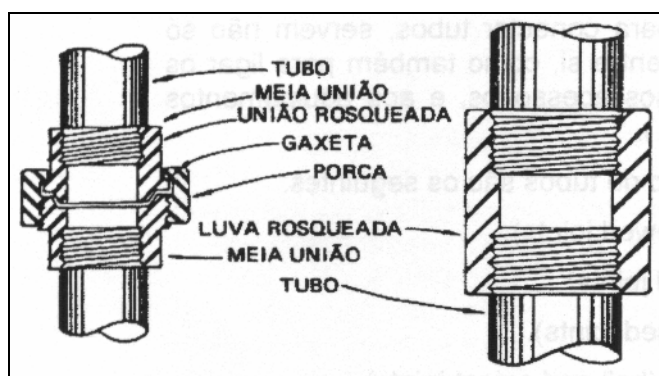



Fig 10 - Ligações rosqueadas de tubos.

As roscas, tanto dos tubos como das luvas e uniões são cônicas, de maneira que, com o aperto há interferência entre os fios das roscas, garantindo a vedação. Para auxiliar a vedação usam-se massas vedantes, que endurecem no fim de algum tempo, vedando completamente. É importante que a massa vedante usada não contamine nem seja atacada ou dissolvida pelo fluido circulante. Para serviços com água ou gás, geralmente usa-se zarcão como massa vedante.

As uniões são empregadas quando se deseja que a tubulação seja facilmente desmontável, ou em arranjos fechados, onde sem a existência de uniões o rosqueamento seria impossível. A vedação entre as duas meias uniões é conseguida por meio de uma junta que é comprimida com o aperto da porca, ou por meio de sedes metálicas integrais, cuidadosamente usinadas, em ambas as meias uniões. Emprega-se esse último sistema em uniões de boa qualidade para altas temperaturas.

O rosqueamento enfraquece sempre a parede dos tubos; por essa razão quando há ligações rosqueadas usam-se sempre tubos de paredes grossas (série 80 no mínimo).

As ligações rosqueadas são as únicas usadas para tubos galvanizados, tanto de aço como de ferro forjado. Empregam-se também ligações rosqueadas, embora não exclusivamente, em tubos de aço-carbono, aços-liga, ferro fundido, e materiais plásticos, sempre limitadas até o diâmetro nominal de 4". Para tubos de aços inoxidáveis e de metais não-ferrosos, o rosqueamento é muito raro, devido as paredes finas que geralmente têm os tubos desses materiais.

As principais normas americanas para roscas de tubos são a ANSI.B.2.1 e a API.S.B (rosca NPT).

De acordo com a norma ANSI.B.31, as ligações rosqueadas estão limitadas até o diâmetro nominal de 2" e somente para tubulações que não sejam de serviços fortemente cíclicos. Exceto para as tubulações de "Categoria C" (veja item I.9), é exigida a espessura mínima Série 80, para diâmetros até 1 1/2", e série 40, para diâmetros maiores. Para materiais termoplásticos, a espessura mínima deve ser série 80, em qualquer diâmetro.

Essa mesma norma exige que as roscas dos tubos sejam cônicas, e recomenda que sejam feitas soldas de vedação nas roscas dos tubos que trabalham com fluidos inflamáveis, tóxicos, e outros em que se deva ter maior segurança contra vazamentos.

Qualquer ligação rosqueadas é sempre um ponto fraco na tubulação, sujeita a possíveis vazamentos e com menor resistência do que o próprio tubo. Por esse motivo, essas ligações, embora permitidas pelas normas, limitam-se na prática, exceto raras exceções, as tubulações de baixa responsabilidade, tais como

instalações prediais e tubulações de serviços secundários em instalações industriais (por exemplo, água, ar comprimido e condensado, em baixas pressões e temperatura ambiente).

2.3 LIGAÇÕES SOLDADAS

Em tubulações industriais, a maior parte das ligações são soldadas, com solda por fusão (welding), com adição de eletrodo, de dois tipos principais:

– solda de topo (butt-welding);
– solda de encaixe (socket-welding).

Essas ligações têm as seguintes vantagens:

– Resistência mecânica boa (quase sempre equivalente à do tubo inteiro).
– Estanqueidade perfeita e permanente.
– Boa aparência.
– Facilidades na aplicação de isolamento térmico e de pintura.
– Nenhuma necessidade de manutenção.

As principais desvantagens, pouco importantes na maioria dos casos, são a dificuldade de desmontagem das tubulações, e a necessidade de mão-de-obra especializada.

2.4 SOLDA DO TOPO E SOLDA DE ENCAIXE

1. Solda de topo - A solda de topo é o sistema mais usado para as ligações entre tubos de 1 1/2"-2" ou maiores, de aços de qualquer tipo. Pode ser aplicada em toda a faixa usual de pressões e de temperaturas, inclusive para serviços severos, sendo por isso o sistema de ligação mais empregado para tubulações de 2” ou maiores, em indústrias de processamento. Excepcionalmente, a solda

de topo poderá ser empregada mesmo em diâmetro menores (1" ou acima) , como por exemplo em serviço com hidrogênio (veja sub-título Tubulações para Hidrogênio).

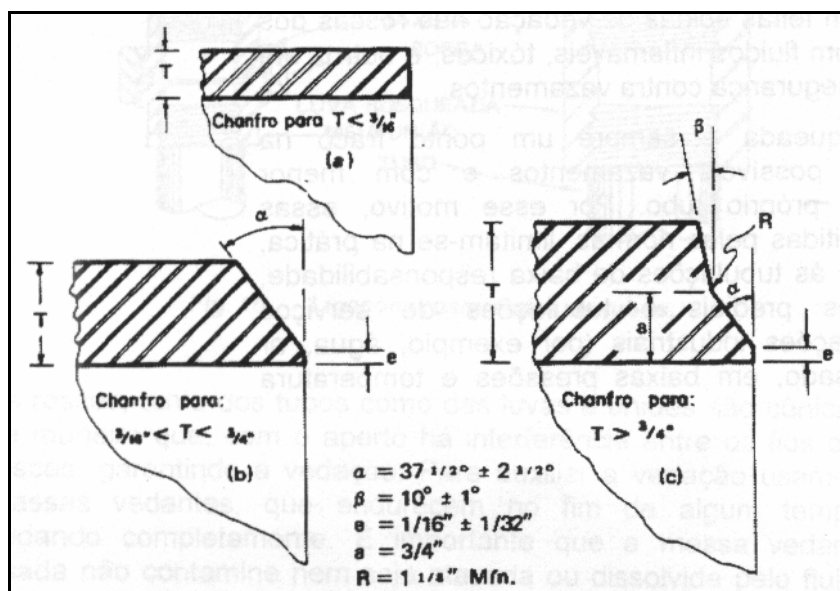



Fig. 11 - Chanfros para solda de topo de tubos.

Os tubos e demais acessórios para uso com solda de topo, devem ter as extremidades com chanfros para solda, de acordo com os padrões da norma ANSI.B.16.25 ou de outras normas. De acordo com a ANSI.B.16.25, os tubos com espessura de parede até 3/16", devem ter as pontas lisas e esquadrejadas [Fig. 11(a)]; os tubos com espessura de parede entre 3/16" e 3/4", que são a maior parte dos usados industrialmente, devem ter chanfro em "'V' com ângulo incluso de 75^{o} [Fig 11(b)]; finalmente, para tubos com espessura de parede superior a 3/4", o chanfro deve ser em "J" duplo [fig. 11(c)]. Em qualquer caso, a fresta (abertura de raiz da solda) dependerá da espessura da parede e do diâmetro do tubo, variando entre 1,5 mm e 6 mm.

Existem anéis que se colocam por dentro dos tubos e que ficam geralmente incorporados à solda, usados principalmente para tubos de grande diâmetro (acima de 20"). Esses anéis (Fig. 12) têm por finalidade melhorar a qualidade da solda, facilitando completa penetração, acelerar a operação de soldagem, facilitar o

alinhamento dos tubos e dar a abertura correta da fresta. Em compensação, principalmente em tubos de pequeno diâmetro, causam sensíveis perdas de carga e dificultam a limpeza mecânica das tubulações. Esses anéis são desaconselhados para serviços sujeitos a corrosão sob contato (crevice corrosion); quando tiverem de ser usados, devem ser removidos após a soldagem e a solda esmerilhada.

A solda de topo não é um ponto fraco na tubulação, podendo-se admitir que a sua resistência seja pelo menos equivalente a do próprio tubo.

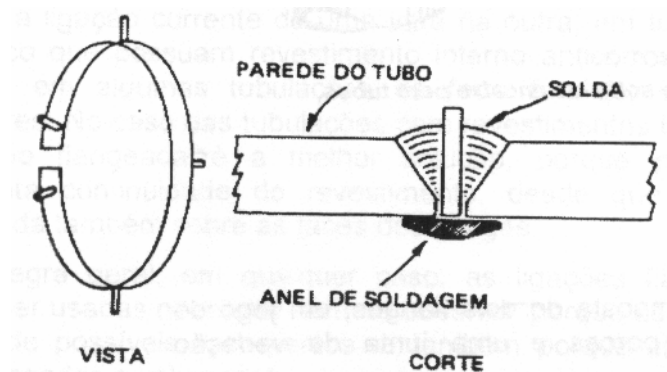



Fig. 12 - Anéis de soldagem

A norma ANSI.B.31, em suas diversas seções, contém numerosas recomendações sobre soldagem de tubos, incluindo seqüência de soldagem, tratamentos térmicos, qualificação de soldadores, testes de inspeção e aceitação etc.

2. Solda de encaixe (ou de soquete) - Esse tipo de ligação soldada é usado na maioria dos tubos industriais com diâmetros até 11/2”-2" inclusive, em toda faixa usual de pressões e de temperaturas, para tubos de aço de qualquer tipo. A solda de encaixe é empregada também, embora não exclusivamente, em tubos até 4”, de metais não-ferrosos e de plásticos.

As varas de tubo são ligadas umas as outras por meio de luvas ou de uniões (Fig. 13) semelhantes às peças usadas nas ligações rosqueadas. As uniões são empregadas quando se deseja facilidade de desmontagem. Os tubos são soldados

nas luvas ou nas uniões com um único cordão externo de solda em ângulo (solda de filete); para isso, as extremidades dos tubos devem ser lisas, tendo as luvas e as uniões rebaixos onde se encaixam os tubos.

Para tubulações de aço ou de metais não-ferrosos, emprega-se sempre solda elétrica, com eletrodos do mesmo material dos tubos. Para tubulações de plástico empregam-se adesivos adequados ao tipo de plástico em questão.

A norma ANSI.B.31.3, recomenda que não se use solda de encaixe em serviços de alta corrosão ou erosão.

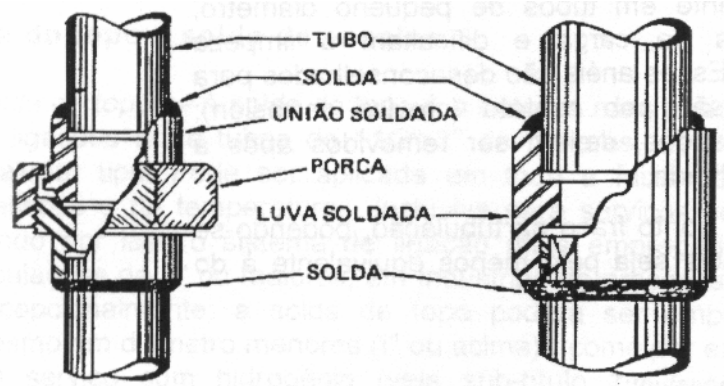



Fig. 13 - Ligações de solda de encaixe pare tubos.

2.5 LIGAÇÕES FLANGEADAS

Uma ligação flangeada é composta de dois flanges, um jogo de parafusos ou estojos com porcas e uma junta de vedação (Fig 14).

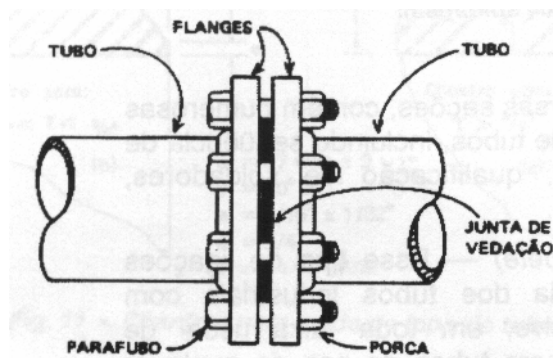



Fig 14 - Ligação flangeada entre tubos.

As ligações flangeadas, que são ligações facilmente desmontáveis, empregam-se principalmente para tubos de 2" ou maiores, em dois casos específicos:

1. Para ligar os tubos com as válvulas e os equipamentos (bombas, compressores tanques, vasos etc), e também em determinados pontos, no correr da tubulação, onde seja necessário facilidade de desmontagem, nas tubulações em que para ligar uma vara na outra, sejam usados normalmente outros tipos de ligação; solda, rosca, ponta e bolsa etc. Estão incluídas neste caso todas as tubulações de aço, ferro forjado, metais não-ferrosos e grande parte das tubulações de plásticos, onde se empregam normalmente as ligações de solda ou de rosca. Incluem-se também a maioria das tubulações de ferro fundido, cujas varas de tubo são usualmente ligadas com ponta e bolsa como veremos adiante.

2. Para a ligação corrente de uma vara na outra, em tubulações de aço que possuam revestimento interno anticorrosivo, bem como em algumas tubulações de ferro fundido, de 2" ou maiores. No caso das tubulações com revestimentos internos a ligação flangeada é a melhor solução, porque permite a perfeita continuidade do revestimento, desde que este se estenda também sobre as faces dos flanges.

Como regra geral, em qualquer caso, as ligações flangeadas devem ser usadas no menor número possível, porque são sempre pontos de possíveis vazamentos, e também porque são peças caras, pesadas e volumosas.

Os flanges podem ser integrais, isto é, fundidos ou forjados juntamente com o tubo, ou independentes, soldados ou rosqueados ao tubo. Os flanges de válvulas, bombas, compressores, turbinas e outras máquinas são quase sempre integrais com esses equipamentos.

Embora a série padronizada de flanges da norma americana ANSI.B.16.5 abranja diâmetros nominais desde 1/2 até 24", as flanges menores do que 1 1/2 são pouco usados.

2.6 TIPOS DE FLANGES PARA TUBOS

São os seguintes os tipos mais usuais de flanges, padronizados pela norma ANSI.B.16.5:

1. Flange integral [Fig. 15(a)] - Os flanges integrais para tubos são usados apenas em alguns casos para tubos de ferro fundido. É o tipo mais antigo de flanges e também o que é proporcionalmente mais resistente.

2. Flange de pescoço (welding-neck - WN) [Fig 15(b)]. É o tipo de flange mais usado em tubulações industriais para quaisquer pressões e temperaturas, para diâmetros de 1 1/2" ou maiores. De todos as flanges não integrais é o mais resistente, que permite melhor aperto, e que dá origem a menores tensões residuais em conseqüência da soldagem e das diferenças de temperatura.

Este flange é ligado ao tubo por uma única solda de topo, ficando a face interna do tubo perfeitamente lisa, sem descontinuidades que facilitem a concentração de esforços ou a corrosão.

A montagem com esses flanges é cara porque cada pedaço de tubo deve ter os extremos chanfrados para solda, e tem de ser cortado na medida certa, com muito pequena tolerância no comprimento.

3. Flange sobreposto (slip-on-SO) [Fig. 15(c)]. É um flange mais barato e mais fácil de se instalar do que o anterior, porque a ponta do tubo encaixa no flange, facilitando o alinhamento e evitando a necessidade do corte do tubo na medida

exata. O flange é ligado ao tubo por duas soldas em ângulo, uma interna e outra externa.

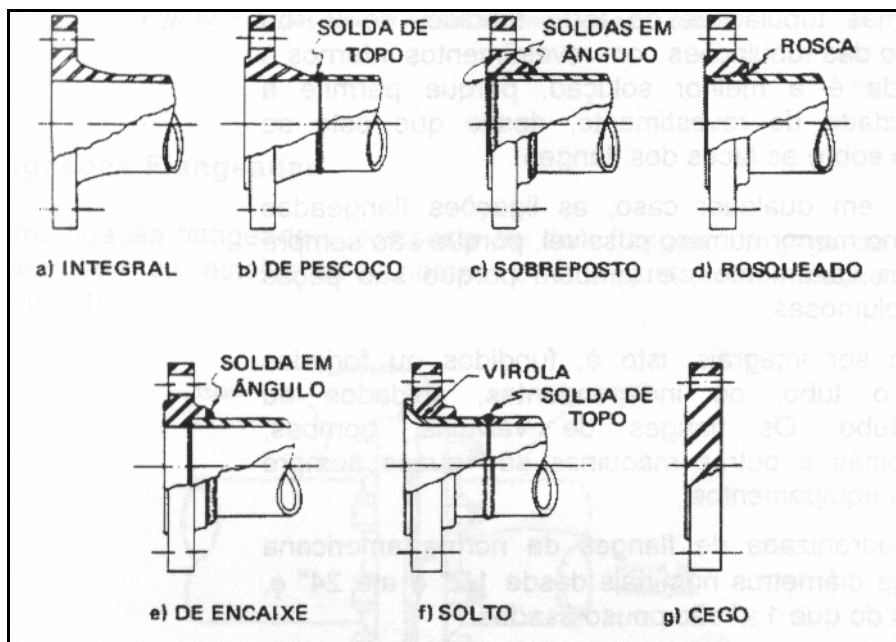



Fig. 15 - Tipos de flanges para tubos.

Esse flange só pode ser usado para tubulações em serviços não severos, porque o aperto permissível e bem menor, as tensões residuais são elevadas e as descontinuidades de seção dão origem a concentração de esforços e facilitam a erosão e a corrosão. De acordo com a norma ANSI.B.31, esses flanges não são permitidos para os fluidos de "Categoria M" (veja item I 9); em tubulações de vapor, só são permitidos nas classes de pressão 150# e 300# (veja sub-título Materiais, Fabricação, Classes e Diâmetros comerciais dos flanges de aço). São desaconselhados para serviços cíclicos, serviços sujeitos a grande variação de temperatura ou sujeitos à corrosão sob contato (crevice corrosion). Não devem também ser empregados para serviços com hidrogênio.

Os flanges sobrepostos são sempre pontos fracos na tubulação, porque a sua resistência mecânica é inferior a do próprio tubo.

Essa mesma observação aplica-se também a todos os outros tipos de flanges citados a seguir.

4. Flange rosqueado (screwed - SCR) [Fig. 15(d)]. Em tubulações industriais esses flanges são usados apenas para tubos de metais não-soldáveis (ferro fundido por exemplo), e para alguns tipos de tubos não-metálicos, como os de materiais plásticos. Empregam-se também para tubos de aço e de ferro forjado em tubulações secundárias (água, ar comprimido etc.) e em redes prediais.

A norma ANSI.B.31 recomenda que sejam feitas soldas de vedação entre o flange e o tubo, quando em serviços com fluidos inflamáveis, tóxicos, ou perigosos de um modo geral.

O aperto permissível com esses flanges é pequeno, as tensões desenvolvidas são elevadas e a rosca age como um intensificador de esforços, e também como uma permanente causa de vazamento.

5. Flange de encaixe (socket-weld - SW) [Fig. 15(e)]. Esse flange é semelhante ao sobreposto, porém é mais resistente e tem um encaixe completo para a ponta do tubo, dispensando-se por isso a solda interna. É o tipo de flange usado para a maioria das tubulações de aço de pequeno diâmetro, até 2”. Por causa da descontinuidade interna não se recomendam esses flanges para serviços sujeitos a corrosão sob contato.

6. Flange solto (lapjoint) [Fig. 15(f)]. Esses flanges, que são também chamados de “Van Stone”, não ficam como os demais presos a tubulação, e sim soltos, capazes de deslizar livremente sobre o tubo. Quando Se empregam esses flanges, solda-se a topo na extremidade do tubo uma peça especial denominada virola (stub-end), que servirá de batente para o flange.

A grande vantagem desses flanges é o fato de ficarem completamente fora do contato com o fluido circulante, sendo por isso muito empregados em serviços que exijam materiais caros especiais, tais como aços inoxidáveis, ligas de Ni etc., bem como para tubos com revestimentos internos. Para todos esses serviços, os flanges podem ser de material barato, como ferro ou aço-carbono, ficando apenas os tubos e a virola de material especial.

7. Flange cego (blind) [Fig. 15(9)]. São flanges fechados, usados para extremidades de linhas ou fechamento de bocais flangeados.

2.7 FACEAMENTO DOS FLANGES

A face de assentamento dos flanges pode ter vários tipos de acabamento. O faceamento dos flanges está padronizado na norma ANSI.B.16.5, sendo os seguintes os tipos mais usuais:

1. Face com ressalto (raised face - RF) [Fig. 16(a)]. O tipo de face mais comum para flanges de aço, aplicável a quaisquer condições de pressão e temperatura.

O ressalto tem 1/16" de altura para as classes de pressão 150# e 300#, e 1/4" de altura para as classes de pressão mais elevadas. A superfície do ressalto pode ser ranhurada (com ranhuras concêntricas ou espiraladas, também chamadas de "fonográficas") ou lisa, sendo as ranhuras espiraladas o acabamento mais comum e mais barato. De acordo com a norma MSS-SP-6, da "Manufacturers Standardization Society” (que não é seguida por todos os fabricantes), as ranhuras devem ter uma profundidade de até 0,15 mm e passo de 0,5 a 1,0 mm. O ressalto liso pode ter vários graus de acabamento, de acordo com a necessidade do serviço ou o tipo da junta; para serviços com hidrogênio em pressão superior a 4 kg/cm^2, é normalmente exigido uma rugosidade média máxima de 0,003 mm (125 milionésimos de polegada).

2. Face plane (flat face - FF) [Fig, 16(b)]. O faceamento usual nos flanges de ferro fundido e de outros materiais frágeis, como os plásticos, por exemplo. O aperto da junta é muito inferior ao obtido em igualdade de condições com os flanges de face com ressalto. Entretanto, se os flanges de ferro fundido e de outros materiais frágeis tivessem faces com ressalto, o aperto dos parafusos poderia causar fraturas nas bordas do flange em conseqüência da flexão. É importante observar que para acoplar com os flanges de face plana das válvulas e equipamentos fabricados de ferro fundido, só se devem usar flanges também de face plana, mesmo quando esses flanges forem de aço.

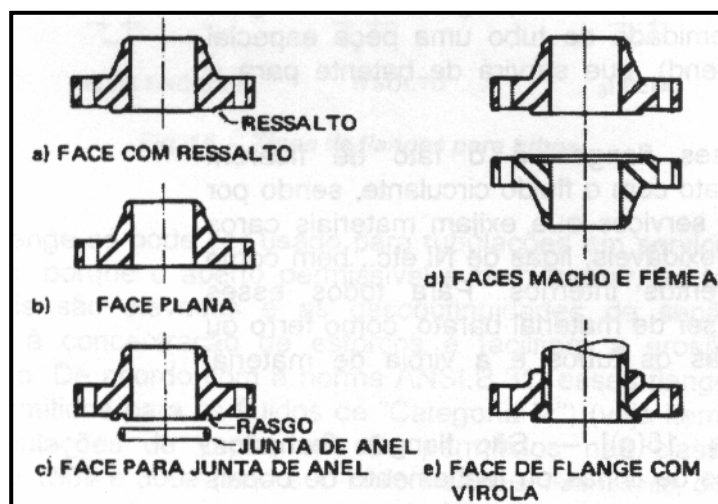



Fig 16 - Tipos de faceamentos de flanges.

3. Face para junta de anel (ring type joint - RTJ) [Fig. 16(c)]. Esse tipo de face é usado em flanges de aço para serviços severos, de altas pressões e temperaturas, como por exemplo vapor (para flanges de classe 600#, ou acima), ou hidrocarbonetos (para flanges de classe 900#, ou acima) ou, em quaisquer casos, para temperaturas acima de 550 C; é empregado também para fluidos perigosos, tóxicos etc., em que deva haver maior segurança contra vazamentos.

A face dos flanges tem um rasgo circular profundo, onde se encaixa uma junta em forma de anel metálico. Consegue-se nesses flanges uma melhor vedação com o mesmo grau de aperto dos parafusos, não só devido à ação de cunha da junta de

anel nos rasgos dos flanges como, também, porque a pressão interna tende a dilatar a junta de anel apertando-a contra as paredes dos rasgos. Os flanges para junta de anel garantem também melhor vedação em serviços com grandes variedades de temperatura.

A dureza da face dos flanges deve ser sempre superior a do anel metálico da junta, recomendando-se os seguintes valores mínimos de acordo com o material:

aço-carbono: 120 Brinell; aços-liga e aços inoxidáveis tipos 304, 316, 347 e 321: 160 Brinell; aços inoxidáveis tipos 304L e 316L: 140 Brinell.

4. Face de macho e fêmea (male & female) [Fig. 16(d)]. Face de lingüeta e ranhura (tongue & groove) - Esses faceamentos, bem mais raros do que os anteriores, são usados para serviços especiais com fluidos corrosivos, porque neles a junta esta confinada, não havendo quase contato da mesma com o fluido. Note-se que, com esses faceamentos os flanges que se acoplam entre si são diferentes um do outro.

2.8 MATERIAIS, FABRICAÇÃO, CLASSES E DIÂMETROS COMERCIAIS DOS FLANGES DE AÇO

O forjamento é o melhor sistema de fabricação para flanges de aço de qualquer tipo. Na prática, devido ao alto custo e a dificuldade de obtenção de peças forjadas de grandes dimensões, admitem-se, para os flanges de 20" ou maiores, os seguintes sistemas alternativos de fabricação:

- Flanges de anel rolado laminado a quente. Esses flanges podem ser admitidos como de qualidade equivalente aos forjados.
- Flanges feitos de chapa ou de barra calandrada (ou prensada), em duas metades, e soldadas nas extremidades. Quando observadas todas as exigências de

fabricação e de inspeção (veja norma ASME, Sec. VIII, Div. 1, parágrafo UA-46), esses flanges podem ser aceitos sem restrições.

Em qualquer uma dessas alternativas, o flange tem seção aproximadamente retangular (flanges tipo sobreposto ou equivalente), não sendo possível obter flanges de pescoço.

As principais especificações da ASTM para flanges forjados são:

A- 181: Flanges forjados de aço-carbono para uso geral.

A-105: Idem, de aço-carbono acalmado com Si, para temperaturas elevadas.

A-182: Idem, de aços-liga Mo, Cr-Mo e de aços inoxidáveis.

A-351: Idem, de aço-carbono e de aços-liga Ni para baixas temperaturas.

A norma ANSI.B.16.5 define 7 classes de flanges, cujas pressões nominais são:

150# 300# 400# 600# 900# 1.500# 2.500#

A pressão nominal de cada classe (Primary non shock rating) é a pressão admissível de trabalho (em psi), sem choques, a uma determinada temperatura. Essas temperaturas, para os flanges de aço-carbono, são de 260^{o} (500^{o}F) para a classe 150#, e de 455^{o}C (850^{o}F) para as demais classes. Para os flanges de aços-liga e de aços inoxidáveis essas temperaturas variam conforme o material, sendo mais altas do que as correspondentes para o aço-carbono.

As pressões admissíveis de trabalho, para qualquer material e qualquer classe, decrescem com o aumento de temperatura. Assim, por exemplo, para flanges de

aço-carbono classe 150#, temos as seguintes correspondências entre temperaturas e pressões admissíveis:

38°C (100°F)	-	19	kg/cm^2	(275 psi)	
150°C (3000F)	-	14	kg/cm^2	(210 psi)	
260°C (500°F)	-	10	kg/cm^2	(150 psi)	pressão nominal
370°C (700°F)	-	7,5	kg/cm^2	(110 psi)	
480°C (900°F)	-	5	kg/cm^2	(70 psi).	

Desta forma, o número que representa a pressão nominal, embora sirva para designar o flange, não significa a pressão admissível com que o flange pode trabalhar, como é às vezes erroneamente interpretado. A pressão admissível do flange, para cada classe de pressão nominal, depende da temperatura e do material do flange.

Para temperaturas abaixo de 38°C a pressão admissível é a mesma correspondente a 38°C, desde que o material seja satisfatório para serviços nessas temperaturas.
Teremos, então, para cada classe de pressão nominal, uma curva de variação da pressão admissível em função da temperatura, como mostra a Fig 17. Na norma ANSI.B.16.5 essas curvas estão transformadas em tabelas dando as pressões admissíveis para todas as temperaturas e para todos os materiais usuais.(*) Deve ser observado que as pressões admissíveis do flange referem-se a flanges submetidos exclusivamente ao esforço de pressão interna, Na prática teremos quase sempre outros esforços atuando simultaneamente sobre os flanges, tais como pesos, esforços de dilatação térmica etc., e, portanto, quando esses esforços adicionais tiverem um valor razoável, pode ser necessário adotar um flange de classe de pressão mais alta.

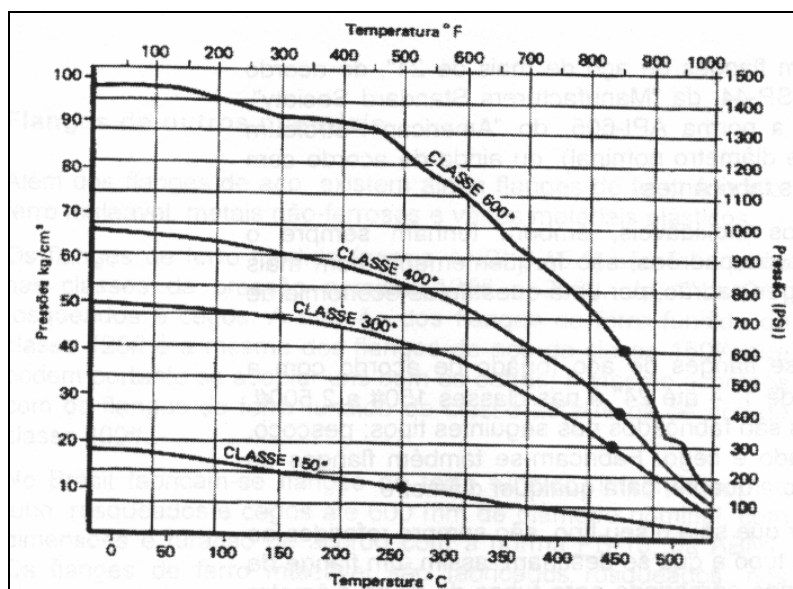



Fig. 17 - Curvas de pressões de trabalho / temperaturas de flanges de aço-carbono. De acordo coma norma ANSI.B.16.5 (1968).

É importante notar que a norma de vasos de pressão (ASME, Séç. VIII) não aceita para os flanges os valores de pressão / temperatura da edição de 1973 da norma ANSI.B.16.5, admitindo somente os valores das edições de 1968 e de 1977, que, em alguns casos, são mais baixos.

A norma ANSI.B.16.5 (assim como as outras normas dimensionais de flanges) estabelece, para cada diâmetro nominal e cada classe de pressão, todas as dimensões dos flanges: diâmetros interno e externo, comprimento, espessura, círculo de furação, número e diâmetro dos parafusos etc. Desta forma, todos os flanges de mesmo diâmetro nominal e mesma classe de pressão terão todas suas dimensões exatamente iguais e se adaptarão ao mesmo tubo; terão, entretanto, pressões admissíveis diferentes se forem de materiais diferentes.

As 7 classes de pressão nominal abrangem todos os tipos de flanges. Desde o diâmetro nominal de 1/2" ate 24", com as seguintes exceções:

-A classe 2.500# só vai até o diâmetro 12”.

-Os flanges de encaixe só são fabricados nas classes 150# a 6009.

-Os flanges rosqueados da classe 1.500# só vão até 12" de diâmetro.

-Os flanges de diâmetros nominais de 3", ou menores da classe 400s, são iguais aos da classe 600x, e os flanges de diâmetros nominais de 21/2" ou menores, da classe 900#, são ecoas aos da classe 1.500#.

Fabricam-se também flanges de aço de mais de 24", de acordo com a norma MSS-SP-44, da "Manufacturers Standard Society", ou de acordo com a norma API-605, do "American Petroleum institute" (até 60" de diâmetro nominal), ou ainda de acordo com os padrões de alguns fabricantes.

Os flanges de aços inoxidáveis, embora tenham sempre o faceamento e a furação padrões, são freqüentemente bem mais leves do que os flanges padrão, por uma questão de economia de material.

No Brasil fabricam-se flanges de aço forjado de acordo com a norma ANSI.B.16.5 de 1" 4 até 24" nas classes 150# a 2.500#. Todos esses flanges são fabricados nos seguintes tipos: pescoço sobreposto, rosqueado e cego. Fabricam-se também flanges de anel rolado, laminado a quente, para qualquer diâmetro.

Os flanges, qualquer que seja o seu tipo, são sempre referidos ao diâmetro nominal do tubo a que se destinam; assim, um flange de 8" quer dizer um flange apropriado para tubos de 8" de diâmetro nominal.

Para a encomenda ou requisição de flanges, as seguintes informações devem ser dadas: quantidade, diâmetro nominal, tipo, norma dimensional a ser seguida, faceamento e acabamento da face, classe de pressão nominal, descrição completa do material (especificação e grau), espessura da parede do tubo a que será ligado (para as flanges de pescoço e de encaixe), especificação da rosca (para as flanges rosqueados).
Exemplo: 20, 6", de pescoço (WN), ANSI.B.16.5, face com ressalto (RF) de acabamento ranhurado, 300#, ASTM-A-181, Gr. I, para tubos Série 40 (ANSI.B .36.10).

É importante observar que todos os flanges soldados (tipos "de pescoço", sobreposto e de encaixe), são obrigatoriamente do mesmo material do próprio tubo.

2.9 FLANGES DE OUTROS MATERIAIS

Alem dos flanges de aço, existem ainda flanges de ferro fundido, ferro maleável, metais não-ferrosos e vários materiais plásticos.

Os flanges de ferro fundido (norma ANSI.B.16.1) são fabricados nas classes de pressão nominal 125# e 250#, de 1” a 24" rosqueados e cegos. A furação dos flanges de ferro fundido da classe 125# é a mesma dos flanges de aço da classe 150#, que podem portanto se acoplar uns com os outros; o mesmo acontece com os flanges de ferro fundido da classe 250# e os de aço da classe 300#.

No Brasil fabricam-se flanges de ferro fundido, integrais com o tubo, rosqueados e cegos até 600 mm de diâmetro nominal, com dimensões e furação de acordo com a norma PB-15, da ABNT. Os flanges de ferro maleável são fabricados rosqueados, nos diâmetros de 10 a 150 mm, conforme a norma PE-16.

Os flanges de latão, bronze e alumínio são fabricados nas classes 150# e 300#, de 1/2" a 4” de diâmetro. Os flanges de plástico PVC são fabricados na classe 150# (da norma ANSI.B.16.5), de 1/2" a 8" de diâmetro, rosqueados, cegos e de encaixe, para colagem ao tubo com adesivo apropriado. Fabricam-se ainda flanges para tubos "FRP", de plásticos reforçados com fibras de vidro, em toda faixa de diâmetros desses tubos, de acordo com a norma PB-15, ou na classe 150#, da norma ANSI.B.16,5; esses flanges podem ser integrais com o tubo ou avulsos, ligados ao tubo como é descrito no item 2.13.1, a seguir.

2.10 JUNTAS PARA FLANGES

Em todas as ligações flangeadas existe sempre uma junta que é o elemento de vedação.

Quando em serviço, a junta está submetida a uma forte compressão provocada pelo aperto dos parafusos, e também a um esforço de cisalhamento devido à pressão interna do fluido circulante. Para que não haja vazamento através da junta, é necessário que a pressão exercida pelos parafusos seja bem superior à pressão interna do fluido, que tende a afastar os flanges. Por esse motivo, quanto maior for a pressão do fluido tanto mais dura e resistente terá de ser a junta, para resistir ao duplo esforço de compressão dos parafusos e de cisalhamento pela pressão.

A junta também deverá ser suficientemente deformável e elástica para se amoldar às irregularidades das superfícies dos flanges, garantindo a vedação.

Assim, as juntas duras, se por um lado resistem a pressões mais altas, por outro lado exigem maior perfeição no acabamento das faces dos flanges e no alinhamento dos tubos, e vice-versa. O material das juntas deverá ainda resistir a ação corrosiva do fluido, bem como a toda faixa possível de variação de temperaturas.

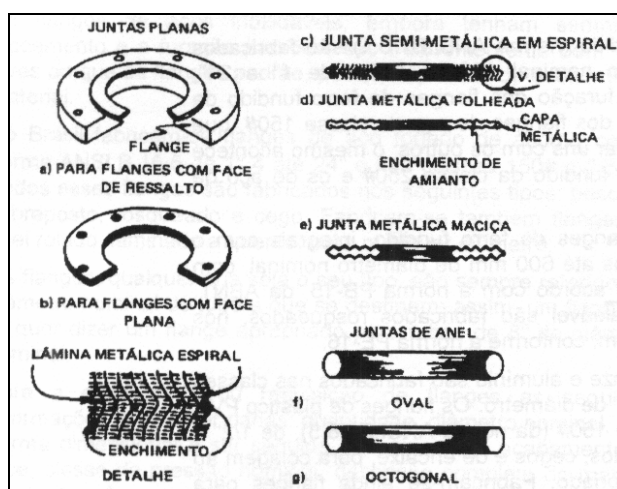



Fig. 18 - Juntas para flanges.

Com flanges de face com ressalto usam-se juntas em forma de coroa circular, cobrindo apenas o ressalto dos flanges, por dentro dos parafusos [Fig. 18(a)]. As juntas usadas com os flanges de face plana cobrem a face completa dos flanges, inclusive a furação dos parafusos [Fig 18(b)]. Para os flanges de macho e fêmea e de lingüeta e ranhura, as juntas são em forma de coroa circular estreita, encaixando-se no fundo da ranhura; como a junta fica confinada, resiste a esforços muito elevados tanto de compressão como de cisalhamento. Com os flanges de face para junta de anel, usam-se juntas de anel metálico maciço.

São os seguintes os tipos mais usuais de juntas para flanges:

1. Juntas não-metálicas – São sempre juntas planas, usadas para flanges de face com ressalto ou de face plana. As espessuras variam de 0.7 a 3 mm, sendo 1,5 mm a espessura mais comum. Os principais materiais empregados sac:

a) Borracha natural: usada para água, ar, condensado ate 60°C.
b) Borrachas sintéticas: usadas para óleos ate 80°C.
c) Materiais plásticos: usados para fluidos corrosivos em baixas pressões e temperatura ambiente.
d) Papelão hidráulico: nome genérico para designar diversas classes de juntas de amianto comprimido com um material aglutinante. De acordo com as especificações da ABNT, são os seguintes os principais tipos dessas juntas:

– EB-216: amianto com composto de borracha; para água, ar, vapor saturado, soluções neutras até 200°C.
– EB-212: amianto com composto especial de borracha; para vapor, amônia, cáusticos, ácidos fracos, salmoura etc. até 500°C.
– EB-313: amianto com composto resistente a ácidos; para ácidos em geral até 4556°C.
– EB-827: amianto com armação metálica inserida; para vapor, óleos, hidrocarbonetos etc. até 590°C.

2. Juntas semimetálicas, em espiral [Fig. 18(c)] - Essas juntas são constituídas de uma lamina metálica (geralmente de aço inoxidável), torcida em espiral, com enchimento de amianto entre cada volta. Usam-se para flanges de face com ressalto, em serviços acima dos limites permitidos para as juntas de papelão hidráulico, e de modo geral, para flanges de classes de pressão 600# ou rnais altas. As juntas semi metálicas, em espiral são notáveis por sua excelente elasticidade.

Para essas juntas, recomenda-se o acabamento liso para a face dos flanges, com rugosidade média máxima de 0,003 mm (125 RMS).

3. Juntas metálicas folheadas [Fig 18(d)] - São juntas com uma capa metálica, plana ou corrugada e enchimento de amianto; a espessura da junta é de 2 a 3 mm. Os casos de emprego são os mesmos das juntas semimetálicas em espiral, sendo que essas juntas têm geralmente vedação mais difícil, exigindo flanges com acabamento liso com rugosidade média máxima de 0,002 mm ou com ranhuras concêntricas. Dependendo das condições de serviço, a capa metálica pode ser de aço-carbono, aços inoxidáveis ou metal Monel.

4. Juntas metálicas maciças [Fig. 18(e)] – São juntas metálicas com faces planas ou ranhuradas. Usam-se essas juntas com flanges de face com ressalto (para pressões muito altas), e com flanges de face de macho e fêmea ou de ranhura e lingüeta. Os materiais empregados são os mesmos das juntas folheadas. Em todas as juntas metálicas é importante que o material da junta seja menos duro do que o material dos flanges.

5. Juntas metálicas de anel (JTA) [Fig 18(f)(g)] – São anéis metálicos maciços de seção ovalada ou octogonal, sendo a ovalada a mais comum. As dimensões do anel, que variam com o diâmetro e com a classe de pressão nominal do flange, estão padronizadas na norma ANSI.B.16.20. Esses anéis são geralmente de aço

inoxidável, fabricando-se também de aço-carbono, aços-liga, níquel e metal Monel, sendo sempre peças de fabricação cuidadosa. A dureza do material da junta de anel deve ser sempre menor do que a dureza do material do flange, sugerindo-se uma diferença mínima de 30 Brinell. As juntas de anel são empregadas para vapor e para hidrogênio (com flanges de classe 600#, ou mais altas), para hidrocarbonetos (com flanges de classe 900#, ou mais altas), e outros serviços de grande risco. Costumam também ser usadas para quaisquer serviços em temperaturas acima de 550^{o}C.

Devido à pequena área de contato da junta com os flanges, a força de aperto necessária para essas juntas e bem inferior a mesma força para as juntas metálicas maciças.

2.11 PARAFUSOS E ESTOJOS PARA FLANGES

Para a ligação de um flange no outro e aperto da junta, empregam-se dois tipos de parafusos:

- Parafusos de máquina (machine bolts).
- Estojos (stud bolts).

Os parafusos de máquina são parafusos cilíndricos com cabeça integral sextavada ou quadrada [Fig. 19(a)]. A parte rosqueadas nunca abrange todo o corpo do parafuso. As dimensões dos parafusos estão padronizadas na norma ANSI.B.18.2, e as dimensões dos filetes de rosca na norma ANSI.B.1.1. Os parafusos de máquina são designados pelo comprimento (medido da extremidade do parafuso até a base da cabeça), e pelo diâmetro nominal da rosca. Esses parafusos e respectivas porcas e arruelas estão padronizados nas normas P-PB41 a 44 d i ARNT.

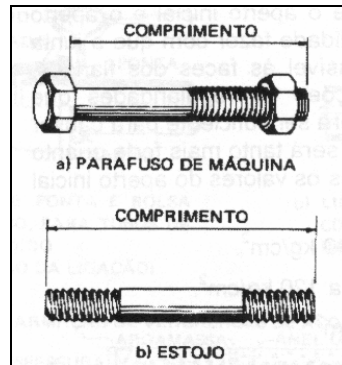



Fig. 19 - Parafusos para flanges.

A norma ANSI.B.21 permite o uso de parafusos de máquina de aço-carbono, para flanges até classe 300#, com juntas não metálicas e para temperaturas até 260°C; na prática, esses parafusos só costumam ser empregados para flanges de ferro fundido e as vezes para flanges de aço da casse 150#.

Os estojos [Fig 19(b)] são barras cilíndricas rosqueadas com porcas e contraporcas independentes; a parte rosqueadas pode ou não abranger todo o comprimento. Os estojos permitem melhor aperto do que os parafusos de máquina porque a parte mais fraca desses parafusos e justamente a ligação do corpo com a cabeça, podendo ser usados para quaisquer pressões e temperaturas. Os filetes de rosca dos estojos devem ser obtidos por rolamento e não por corte (usinagem). Os estojos são designados pelo comprimento total e pelo diâmetro nominal da rosca.

As dimensões das porcas e dos filetes de rosca dos estojos estão padronizados também pelas normas ANSI.B.18.2 e ANSI.B.1.1.

Há uma variedade muito grande de aços-liga para estojos e porcas, aplicáveis a várias condições de trabalho: a norma ANSI.B.31.3 possui tabelas dando as tensões admissíveis de trabalho e as limitações de temperatura para os diversos materiais. Para temperaturas até 480°C usam-se estojos de aço-liga A-193 Gr.B.7 (1% Cr, 0,25% Mo), e para temperaturas até 600°C os de Gr.B.5 (5% Cr, 1/2S0 Mo). Para

temperaturas abaixo de zero os estojos devem ser de aço-liga Ni (ASTM-A-320). Devido à baixa resistência mecânica dos aços inoxidáveis austeníticos, os estojos desses materiais não devem ser usados para serviços severos, limitando a norma ANSI B 31 aos flanges de classes de pressão até 400#.

O aperto dos parafusos de uma ligação flangeada traciona os parafusos, comprime a junta, e introduz esforços de flexão nos flanges. Por essa razão, as normas fixam limites para a tensão de escoamento do aço dos parafusos, para uso com flanges de materiais de fraca resistência, como o ferro fundido, por exemplo.

No aperto dos parafusos distingue-se o aperto inicial e o aperto residual. O aperto inicial tem por finalidade fazer com que a junta se adapte o mais perfeitamente possível as faces dos flanges, amoldando-se a todas as imperfeições e irregularidades que possam existir. Esse aperto, que deve ser suficiente para causar o escoamento do material das juntas, será tanto mais forte quanto mais dura for a junta. São os seguintes os valores do aperto inicial para alguns tipos de juntas:

- Juntas de borracha macia - 25 a 40 kg/cm^2.
- Juntas de papelão hidráulico – 80 a 120 kg/cm^2.
- Juntas metálicas - 200 a 400 kg/cm^2.

O aperto residual tem por objetivo combater o efeito da pressão interna no tubo tendendo a separar os flanges. Esse aperto terá de ser tanto mais forte quanto maior for a pressão interna. Na prática, para evitar vazamentos, basta que o aperto residual tenha 11/2 a 2 vezes o valor da pressão interna.

Evidentemente, em qualquer ligação flangeada, o aperto residual deve ser somado ao aperto inicial.

Em tubulações sujeitas a temperaturas elevadas, os parafusos ou estojos tendem a se dilatar e se deformar por fluência, ambos os efeitos tendo por conseqüência afrouxar o aperto, sendo por isso necessário um novo aperto adicional a quente.

2.12 LIGAÇÕES DE PONTA E BOLSA

A ligação de ponta e bolsa é um sistema muito antigo, mais ainda usado correntemente para as seguintes classes de tubos:

- Tubos de ferro fundido e de ferros-ligados para água, esgotos e líquidos corrosivos.
- Tubos de ferro fundido para gás.
- Tubos de barro vidrado e de cimento-amianto.

- Tubos de concreto simples ou armado.

Para todos esses tubos, emprega-se a ponta e bolsa em toda a faixa de diâmetros em que são fabricados. No caso dos tubos de barro vidrado, cimento-amianto e concreto, a ponta e bolsa é praticamente o único sistema de ligação usado. As ligações de ponta e bolsa são também empregadas para alguns tubos de plásticos termoestáveis de grande diâmetro.

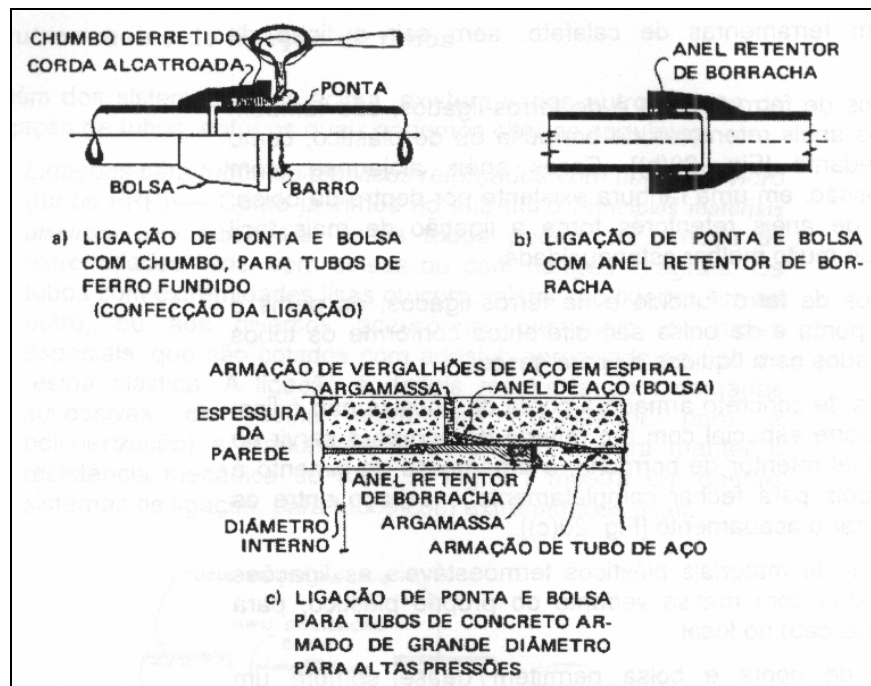



Fig. 20 - Ligação de ponta e bolsa. [(a e b) Cortesia da Cia. Ferro Brasileiro.]

Para uso com ponta e bolsa, as varas de tubos são assimétricas, tendo cada uma a ponta lisa em um extremo e a bolsa no outro extremo [Fig. 20(a)]. A ponta lisa de um tubo encaixa-se dentro da bolsa do outro tubo no interior da qual coloca-se um material de vedação que servirá para dar estanqueidade ao conjunto. O material de vedação deve ser elástico ou ter perfeita aderência ao tubo; deve também ser resistente ao fluido conduzido, não se dissolvendo nem contaminando o mesmo. Os principais materiais de vedação são os seguintes:

- Tubos de ferro fundido: chumbo derretido e estopa alcatroada, ou anéis retentores de borracha ou de plásticos.
- Tubos de concreto e de cimento-amianto: argamassa de cimento com anéis de borracha.
- Tubos de barro vidrado: argamassa de cimento.

Nas ligações com chumbo e estopa alcatroada, a estopa e colocada no fundo da bolsa, ligeiramente encalçada, e depois o chumbo derretido é derramado, preenchendo o restante do espaço da bolsa. Quando se usa estopa alcatroada a junta deve ser mantida úmida, para que fique estanque, o que se consegue geralmente com o próprio fluido circulante. O uso do chumbo tem a grande vantagem de permitir reparos fáceis a qualquer momento; quando houver vazamentos, bastará encalçar o chumbo com ferramentas de calafate sem sair à linha de operação.

Com os tubos de ferro fundido e de ferros-ligados, são também muito usados anéis retentores de borracha ou de plástico como elemento vedante [Fig. 20(b)]. Esses anéis alojam-se, com pequena pressão, em uma ranhura existente por dentro da bolsa. O emprego de anéis retentores torna a ligação de mais fácil execução e de muito melhor estanqueidade.

Para os tubos de ferro fundido e de ferros-ligados, os perfis e detalhes da ponta e da bolsa são diferentes conforme os tubos sejam destinadas para líquidos ou para gases.

Com os tubos de concreto armado a ponta de encaixe não é lisa, tendo um recorte especial com um reforço de aço para servir de batente ao anel retentor de borracha; a argamassa de cimento e colocada depois para fechar completamente o espaço entre os dois tubos e dar o acabamento [Fig. 20(c)].

Para os tubos de materiais plásticos termoestáveis as ligações são preenchidas com massa vedante do próprio plástico, para cura (polimerização) no local.

As ligações de ponta e bolsa permitem quase sempre um pequeno movimento angular entre um tubo e outro, e às vezes também um ligeiro movimento axial; fazem exceção evidentemente as ligações vedadas com argamassa de cimento ou materiais equivalentes. Os anéis retentores de borracha para tubos de ferro fundido permitem um considerável movimento angular (4^o a 8^o, dependendo do diâmetro), sendo por isso tal sistema de ligação usado em tubulações sujeitas a desnivelamentos devidos a recalques de terreno.

Empregam-se as ligações de ponta e bolsa para líquidos até 15 kg/cm^2 e para gases até 1 kg/cm^2. A norma ANSI.B.31 só permite o uso dessas ligações em tubulações para água ou para esgoto.

2.13 OUTROS MEIOS DE IIGAÇÃO DE TUBOS

Além dos sistemas vistos acima existem vários outros meios de ligação de tubos, entre os quais podemos citar os seguintes:

1. Ligações para tubos de plásticos reforçados com fibras de vidro (tubos FRP) - Como já vimos no sub título Principais materiais plásticos para tubulações, esses

tubos podem ter ambas as extremidades lisas, com bolsas ou com flanges integrais. Os tubos com extremidades lisas ou com bolsas são ligados um ao outro, ou aos diversos acessórios, por meio de niples especiais, que são colados com adesivo apropriado ao tipo de resina plástica. A ligação é depois recoberta com camadas sucessivas de resina (com um catalizador para a polimerização) e mantas de fibras de vidro, para manter a resistência mecânica do tubo. A Fig 21 mostra um desses sistemas de ligação, para tubos com extremidades lisas.

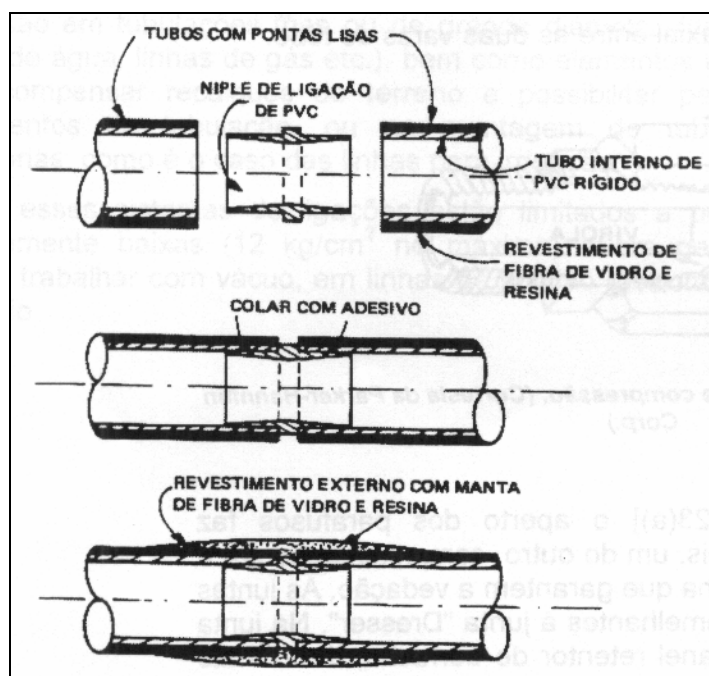



Fig. 21 - Emenda de tubos PVC,
com revestimento laminado de fibra de vidro e resina.

Os tubos com extremidades com flanges integrais são unidos como uma ligação flangeada convencional. Esses flanges têm furação de acordo com a norma PB-15 ou com a norma ANSI.B.16.5 (classe 150#).

2. Ligações de compressão - São sistemas muito usados para tubos de metais não ferrosos e de aço inoxidável, todos de pequeno diâmetro (ate 1").

A ligação se faz com o uso de acessórios especiais que por meio do aperto de uma porca de rosca fina, comprimem as paredes do tubo contra uma luva, até atingir um contato de metal contra metal inteiramente estanque.

Há vários sistemas diferentes: Um sistema muito usual consiste em se fazer uma virola no extremo do tubo (fig. 22), que é encaixada na peça de união. A porca de aperto empurra uma luva que desliza por fora do tubo e comprime as paredes da virola entre a luva e a peça de união.

As ligações de compressão são empregadas principalmente para tubos de instrumentação e para pequenas linhas de óleos.

Existem ligações de compressão, com ou sem virola, especiais para tubos de paredes espessas para altas pressões, podendo trabalhar, em alguns casos, com pressões superiores a 2.000 kg/cm^2.

3. Ligações patenteadas diversas (juntas “Dresser", "Victaulic”, “Flexlock”, “Gibault”, etc.) - Essas ligações são todas não rígidas, permitindo sempre um razoável movimento angular e um pequeno movimento axial entre as duas varas de tubo.

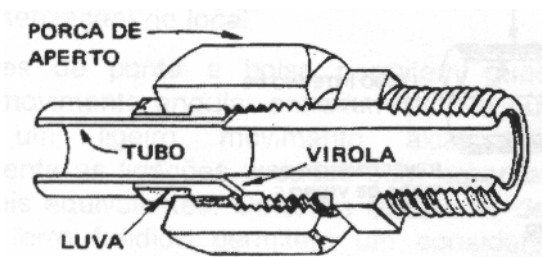



Fig 22 - Exemplo de ligação de compressão.
(Cortesia da Parker-Hannifin Corp.)

Na junta “Dresser" [Fig. 23(a)] o aperto dos parafusos faz aproximarem-se os dois anéis, um do outro, comprimindo contra a luva os retentores de borracha que garantem a vedação. As juntas "Flexlock" e “Gibault” são semelhantes a junta "Dresser". Na junta “Victaulic" temos um único anel retentor de borracha, de formato especial que se encaixa em rasgos abertos nas extremidades de ambos os tubos

[Fig. 23(b)]. Por fora do anel retentor colocam-se duas peças, presas entre si por parafusos, abrangendo cada uma, meia circunferência dos tubos. Apertando-se os parafusos, as peças comprimem o anel retentor, dando a vedação.

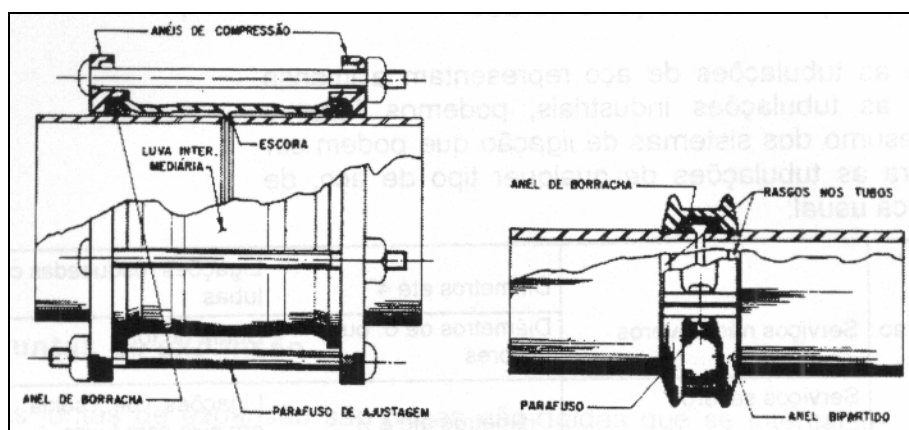



Fig. 23 - Exemplos de ligações patenteadas.

Todas essas ligações são também usadas como juntas de expansão em tubulações frias ou de grande diâmetro (adutoras, linhas de água, linhas de gás etc.), bem como elementos flexíveis para compensar recalques de terreno e possibilitar pequenos movimentos da tubulação, ou na montagem de tubulações provisórias, como é o caso das linhas para irrigação.

Todos esses sistemas de ligações estão limitados a pressões relativamente baixas (12 kg/cm^2 no máximo) e em geral não devem trabalhar com vácuo, em linhas de sucção de bombas por exemplo.

2.14 SISTEMAS DE LIGAÇÃO PARA TUBULAÇÕES DE AÇO

Considerando que as tubulações de aço representam a imensa maioria de todas as tubulações industriais, podemos fazer o seguinte quadro resumo dos sistemas de ligação que podem ser recomendados para as tubulações de qualquer tipo de aço, de acordo com a prática usual:

Ligações correntes ao longo da tubulação	Serviços não severos	Diâmetro até 4”	Ligações rosqueadas com luvas
		Diâmetros de 6” ou maiores	Solda de topo
	Serviços severos	Diâmetros até a 1/2	Ligações de solda de encaixe com luvas
		Diâmetros de 2”ou maiores	Solda de topo
Ligações nos extremos da tubulação, ou onde for exigida facilidade de desmontagem	Serviços não severos	Diâmetros até 4	Ligações rosqueadas com uniões
		Diâmetros de 6”ou maiores	Ligações flangeadas (flanges rosqueados ou sobrepostos)
	Serviços severos	Diâmetros até a 1 1/2	Ligações de solda de encaixe com uniões
		Diâmetros de 2”ou maiores	Ligações flangeadas (flanges de pescoço)

Serviço severo significa fluido não perigoso, pressão até 7 km/cm^2, temperatura até 100^{o}C.

Serviço severo significa alta responsabilidade (fluidos inflamáveis, tóxicos etc.) ou pressões e/ou temperaturas superiores aos limites citados acima.

3 JUNTAS DE EXPANSÃO

3.1 JUNTAS DE EXPANSAO

As juntas de expansão são peças não rígidas que se intercalam nas tubulações com a finalidade de absorver total ou parcialmente as dilatações provenientes das variações de temperatura e também de impedir a propagação de vibrações.

As juntas de expansão são, entretanto, raramente usadas: na maioria dos casos o controle da dilatação térmica dos tubos é feito simplesmente por um traçado conveniente dado à tubulação, com diversas mudanças de direção, de maneira que a tubulação tenha flexibilidade própria suficiente.

São os seguintes os principais casos em que se justifica o emprego de juntas de expansão:

1. Quando o espaço disponível é insuficiente para que se possa ter um trajeto da tubulação com flexibilidade capaz de absorver as dilatações.

2. Em tubulações de diâmetro muito grande (acima de 20"), ou de material muito caro, onde haja interesse econômico em fazer-se o trajeto o mais curto possível. Um trajeto mais longo para uma tubulação aumenta não só o custo da tubulação em si, como também o custo das fundações, estruturas de suporte etc., principalmente no caso de tubos pesados, de grande diâmetro.

3. Em tubulações que por exigências de serviço devam ter trajetos diretos retilíneos, com um mínimo de perdas de carga ou de turbilhonamentos.

4. Em tubulações sujeitas a vibrações de grande amplitude.

5. Em certas tubulações ligadas a equipamentos que não possam sofrer grandes esforços transmitidos pelas tubulações. A junta de expansão servirá, nesse caso, para evitar a possibilidade de transmissão de esforços da tubulação para o equipamento.

6. Para a ligação direta entre dois equipamentos.

Comparando-se uma junta de expansão com uma tubulação com curvas capazes de absorver uma dilatação equivalente, verifica-se que a tubulação com curvas, devido

ao maior comprimento de tubo necessário, conduz a maiores valores das perdas de carga e das perdas de calor, acréscimo esse que pode chegar a 20%. Em compensação, as juntas de expansão são em geral mais caras do que o comprimento adicional de tubo, principalmente para pequenos diâmetros. A desvantagem mais séria das juntas de expansão é porém o fato de constituírem sempre um ponto fraco da tubulação, sujeito a defeitos, a vazamentos, e a maior desgaste, podendo dar origem a sérios acidentes, e com necessidade constante de inspeção e de manutenção essa é a principal razão do seu pouco uso.

Para a encomenda de juntas de expansão, pelo menos os seguintes dados devem ser fornecidos:

- Natureza e propriedades completas do fluido ou dos fluidos conduzidos.
- Pressão e temperatura de operação e de projeto, variações possíveis da pressão e da temperatura, com indicação dos valores máximos e mínimos e da duração prevista dessas variações.
- Tipo da junta requerida; não só o tipo geral, como também detalhes desejados (tirantes, camisa interna, anéis de equalização etc) como veremos adiante.
- Diâmetro nominal do tubo, tipo de ligação da junta a tubulação (flange, solda, rosca) com especificação completa.

- Material da tubulação (especificação completa). Condições especiais de corrosão, de abrasão ou de erosão, se houverem.
- Especificação completa do isolamento térmico, se houver.
- Posição de trabalho da junta (vertical, horizontal, inclinada). Cargas que estejam agindo sobre a junta. Dimensões máximas que deva ter a junta, caso existam limitações de espaço.
- Valores dos movimentos axial (distensão ou contração), angular, lateral ou combinações desses, que a junta deva absorver. No item a seguir trataremos especificamente dos movimentos das juntas de expansão; a Fig. 24 mostra os tipos fundamentais desses movimentos.

– Freqüência dos ciclos de aquecimento e resfriamento da tubulação e tempo de vida útil requerido para a junta de expansão.
– Normas, códigos ou especificações que devam ser obedecidos para a fabricação, inspeção e teste da junta.
– Esquema da tubulação onde ficará a junta mostrando o sistema de suportes.

Existem dois tipos gerais de juntas de expansão: Juntas de telescópio e juntas de fole ou de sanfona.

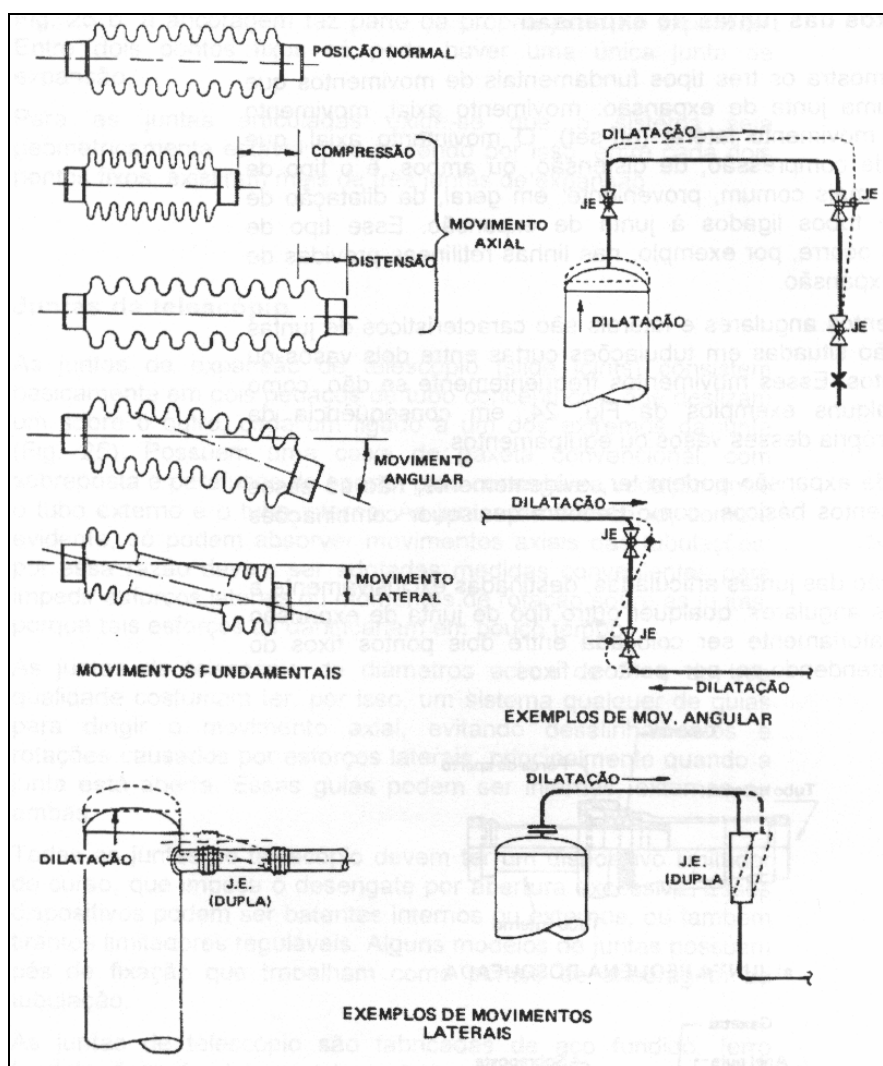



Fig. 24 – Tipos de movimentos nas juntas de expansão

3.2 MOVIMENTOS DAS JUNTAS DE EXPANSÃO

A Fig. 24 mostra os três tipos fundamentais de movimentos que pode ter uma junta de expansão: movimento axial, movimento angular e movimento lateral (off-set). O movimento axial, que pode ser de compressão, de distensão, ou ambos, é o tipo de movimento mais comum, proveniente, em geral, da dilatação de trechos de tubos ligados à junta de expansão. Esse tipo de movimento ocorre, por exemplo, nas linhas retilíneas providas de juntas de expansão.

Os movimentos angulares e laterais são característicos de juntas de expansão situadas em tubulações curtas entre dois vasos ou equipamentos. Esses movimentos freqüentemente se dão, como mostram alguns exemplos da Fig. 24, em conseqüência da dilatação própria desses vasos ou equipamentos.

As juntas de expansão podem ter, evidentemente, não só esses três movimentos básicos, como também quaisquer combinações dos mesmos.

Com exceção das juntas articuladas, destinadas exclusivamente a movimentos angulares, qualquer outro tipo de junta de expansão deve obrigatoriamente ser colocada entre dois pontos fixos do sistema, entendendo-se por pontos fixos

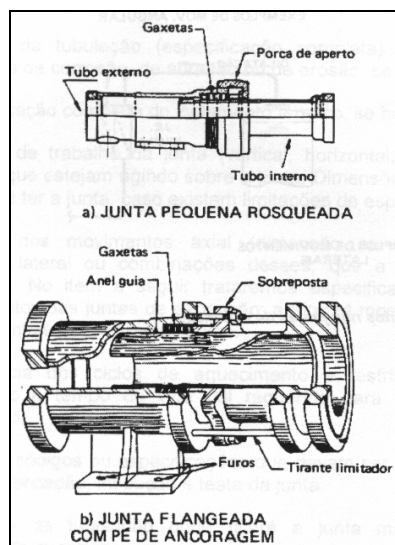



Fig. 25 - Juntas de expansão de telescópio.
[cortesia da Adsco Division (Yoba Consolidated Industries InC.)].

as ancoragens e os bocais de equipamentos que possuam fundação própria. Em alguns casos, como o exemplo da Fig. 25 b, a ancoragem faz parte da própria junta de expansão. Entre dois pontos fixos só pode haver uma única junta de expansão.

Para as juntas articuladas exige-se que o sistema seja geometricamente estável, não podendo por isso, entre cada dois pontos fixos, existirem mais de três juntas de expansão.

3.3 JUNTAS DE TELESCÓPIO

As juntas de expansão de telescópio (slide joints) consistem basicamente em dois pedaços de tubo concêntricos, que deslizam um sobre o outro, cada um ligado a um dos extremos da junta (fig. 25). Possuem uma caixa de gaxeta convencional, com sobreposta e parafusos de aperto, para conseguir a vedação entre o tubo externo e o tubo interno. As juntas de telescópio, como é evidente, só podem absorver movimentos axiais das tubulações; por essa razão devem ser adotadas medidas convenientes para impedir esforços laterais ou momentos de rotação sobre as juntas, porque tais esforços as danificariam em pouco tempo.

As juntas de telescópio de diâmetros acima de 3" e de boa qualidade costumam ter, por isso, um sistema qualquer de guias para dirigir o movimento axial, evitando desalinhamentos e rotações causados por esforços laterais, principalmente quando a junta está aberta. Essas guias podem ser internas, externas ou ambas.

Todas as juntas de telescópio devem ter um dispositivo limitador de curso, que impeça o desengate por abertura excessiva. Esses dispositivos podem ser batentes internos ou externos, ou também tirantes limitadores reguláveis. Alguns modelos de juntas possuem pés de fixação que trabalham como pontos de ancoragem da tubulação.

As juntas de telescópio são fabricadas de aço fundido, ferro fundido, ferro fundido nodular e bronze, em diâmetros nominais até 24", para pressões até 40 kg/cm^2 e com curso até de 30 cm. Os extremos para ligação nas tubulações podem ser flangeados, ou para solda de topo, ou ainda rosqueados, nos diâmetros até 4". As juntas pequenas e baratas têm, as vezes, uma porca para aperto das gaxetas, em lugar da sobreposta com parafusos.

As juntas de telescópio são empregadas principalmente para tubulações de vapor de baixa pressão, de condensado ou de água quente, em locais congestionados, onde não é possível a colocação de curvas de expansão. As juntas de telescópio só devem ser usadas para serviços leves, onde os movimentos não sejam freqüentes, porque a movimentação freqüente fatalmente causara vazamentos. O engaxetamento é sempre uma causa de possíveis vazamentos, e por isso essas juntas não devem ser empregadas em serviços de responsabilidade ou com qualquer fluido perigoso.

As juntas tipo "Dresser”, e outras semelhantes, a que já nos referimos no sub-titulo Outros meios de ligação de tubos, podem também ser empregadas como juntas de expansão, para absorver pequenas dilatações, em tubulações de baixa responsabilidade, para fluidos não perigosos.

3.4 JUNTAS DE FOLE OU DE SANFONA

As juntas de fole (packless, bellows joints) consistem essencialmente em uma série de gomos sucessivos feitos de uma chapa fina flexível (Fig. 26).

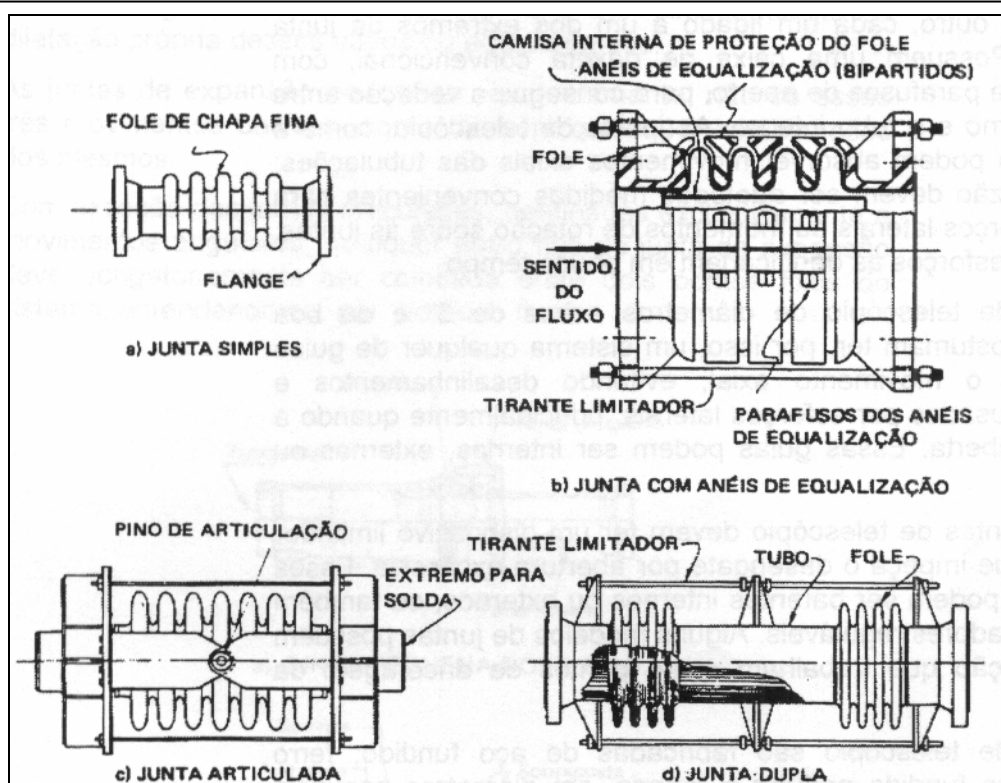



Fig. 26 - Juntas de expansão de fole. [(b) Cortesia da Zallea Brothers Inc.].

Como não possuem gaxetas não há o risco de vazamentos, e a manutenção é bem menor comparativamente com as juntas de telescópio. Por essa razão, podem ser usadas em serviços severos, com fluidos inflamáveis, tóxicos etc.

Mesmo assim, todas as juntas de fole são sempre pontos fracos da tubulação, não só porque a resistência mecânica do fole de chapa fina e bem menor do que a dos tubos, como também porque estão mais sujeitas à fadiga por serviços cíclicos e a maiores desgastes por corrosão e erosão.

O grande risco nessas juntas é a ruptura súbita do fole, que pode causar vazamentos consideráveis ou até um incêndio de proporções. Por essa razão em juntas importantes, a construção do fole deve ser extrernamente cuidadosa. As soldas devem ser todas de topo, no menor número possível, localizadas de forma a sofrerem o mínimo com a deformação do foje, e absolutamente perfeitas. Nas juntas de boa qualidade o fole deve ter apenas uma costura soldada longitudinal, sem

soldas circunferências. Devem ser feitos obrigatoriamente todos os testes não destrutivos compatíveis com o material e a espessura da chapa (raios X, "magnaflux" etc.). Depois da junta instalada e em serviço, deve haver periodicamente uma inspeção meticulosa do fole por fora e por dentro. É importante observar que o material do fole é uma chapa fina sujeita a deformações. Onde as tensões são elevadas e, portanto, os efeitos de corrosão e erosão são muito graves.

As juntas de fole, dependendo do modelo, podem permitir qualquer tipo ou combinação de movimentos.

Em todas as juntas de fole, a esforço axial necessário para comprimir ou para distender a junta, é bem menor do que o esforço correspondente em uma junta de telescópio para a mesmo diâmetro e pressão de trabalho.

Nenhuma junta de fole é completamente drenável quando em posição horizontal, isto é, há sempre uma certa quantidade de líquido que fica retido nas corrugações. Quando em posição vertical, há algumas juntas que são completamente drenáveis dependendo do perfil dos gomos do fole. Note-se que mesmo ínfimas quantidades de líquidos, quando retidas no fole de chapa fina, podem causar sérios problemas de corrosão.

3.5 TIPOS DE JUNTAS DE EXPANSÃO DE FOLE

São os seguintes os tipos mais importantes de juntas dessa classe;

- Juntas simples.
- Juntas com anéis de equalização.
- Juntas com articulação (hinge-joints) - Juntas duplas.

As juntas simples [Fig. 26(a)] são usadas apenas para serviços não severos ou para certas tubulações onde se possa garantir que a junta fique sempre perfeitamente

guiada e suportada. Essas juntas consistem simplesmente no fole de chapa fina que é diretamente soldado aos extremos, geralmente flangeados, para ligação às tubulações. As juntas de boa qualidade costumam ter um dispositivo limitador de curso para evitar a distensão exagerada do fole, consistindo quase sempre em tirantes de aço com porcas ajustáveis como se pode ver nos exemplos b, c e d da Fig. 26. Observe-se que não havendo os tirantes o fole ficará sujeito a uma distensão excessiva, ou mesmo a ruptura, por efeito da pressão interna que tende a aumentar indefinidamente o comprimento do fole; esses tirantes estão portanto submetidos a um esforço de tração proporcional a pressão do fluido. As juntas simples permitem movimento axial, angular, e também pequeno movimento lateral.

As juntas com anéis de equalização [Fig. 26(b)] empregam-se para serviços severos com pressões altas ou quando se exijam maiores condições de segurança. Os anéis de equalização são anéis geralmente de aço fundido, bipartidos, colocados externamente entre cada gomo, com as duas metades presas entre si por meio de parafusos. Esses anéis têm por principal finalidade aumentar a resistência do fole à pressão interna, que tende a deformá-lo diametralmente; servem também para evitar a distensão ou o dobramento excessivo de cada gomo, distribuindo igualmente o esforço por todos os gomos. Pela simples inspeção da figura vê-se que, quando a junta se fecha, cada gomo só poderá ser dobrado até que o anel se encoste nos anéis vizinhos. O dobramento do côncavo de cada gomo será também limitado pelo diâmetro da pele interna do anel, que fica entre cada dois gomos. A necessidade dos anéis de equalização decorre do fato de que dificilmente se conseguirá uma junta de expansão com todos os gomos exatamente iguais entre si, isto é, exatamente com a mesma flexibilidade. Não havendo anéis de equalização, o gomo que fosse mais fraco absorveria sempre a maior parcela do movimento total, porque começaria a se deformar antes dos outros e com mais freqüência do que os outros. Esse gomo estaria assim sujeito a se romper por fadiga, não só pelo fato de ser mais fraco, como também por se deformar excessivamente.

As juntas com anéis têm sempre tirantes limitadores de curso e, freqüentemente, têm também uma camisa interna para proteger o fole dos efeitos da erosão e da corrosão. Quando a junta de expansão se destina a trabalhar com fluidos que possam deixar depósitos ou sedimentos, devem ser previstas pequenas tomadas para a injeção de vapor, ar comprimido, ou outro fluido sob pressão, entre a camisa interna e o fole, para limpar o fole continuamente ou quando necessário.

Empregam-se as juntas com anéis para absorver movimentos axiais, angulares ou pequenos movimentos laterais.

Quando o movimento da tubulação for apenas angular, usam-se as juntas articuladas [Fig. 26(c)] que tem uma articulação externa presa aos extremos onde se liga à tubulação. Essas juntas devem ter um sistema qualquer de limitação do movimento angular, que podem ser batentes na articulação, ou tirantes limitadores com porcas. É evidente que a própria articulação funciona como limitador de extensão e de compressão do fole. Os pinos da articulação devem ter um sistema qualquer de lubrificação permanente para facilitar os movimentos.

Para a absorção de movimentos axiais e laterais combinados, ou para grandes movimentos laterais, usam-se as juntas duplas [Fig. 26(d)], que nada mais são do que duas juntas conjugadas com um pequeno trecho de tubo intermediário. É importante que o tubo intermediário seja devidamente suportado, externamente ou pelos tirantes, para que o seu peso não atue sobre nenhum dos dois foles, principalmente quando o conjunto estiver instalado em posição não vertical.

Os foles de todos os tipos de juntas são fabricados de materiais resistentes a corrosão: aços inoxidáveis, cobre, metal Monel, ligas de níquel etc, de acordo com a pressão e temperatura de serviço e a natureza do fluido conduzido. Fabricam-se juntas ate 4,5 m de diâmetro nominal, para temperaturas ate 870^{o}C, e para pressões desde o vácuo absoluto até 40 kg/cm^{2}.

O curso axial pode chegar até 20 cm e a deflexão angular permissível, nos diâmetros pequenos, pode ir até 50°. As extremidades das juntas de fole são geralmente flangeadas, ou mais raramente para solda de topo.

As juntas de fole são usadas principalmente para tubulações quentes de grande diâmetro, acima de 20", casos em que geralmente não é possível ou não é econômico o emprego de curvas de expansão.

4 PURGADORES DE VAPOR, SEPARADORES DIVERSOS E FILTROS

4.1 DEFINIÇÃO E FINALIDADES DO PURGADORES DE VAPOR

Os purgadores de vapor (steam Traps) são dispositivos automáticos que separam e eliminam o condensado formado nas tubulações de vapor e nos aparelhos de aquecimento, sem deixar escapar o vapor. Por essa razão esses aparelhos deveriam ser chamados, com mais propriedade, de "purgadores de condensado". Os bons purgadores, além de removerem o condensado, eliminam também o ar e outros gases incompensáveis (CO_2, por exemplo) que possam estar presentes.

Os purgadores de vapor são os dispositivos de separação mais importantes e de emprego mais comum em tubulações industriais.

São as seguintes às causas do aparecimento de condensado em tubos de vapor:

- Em tubulações de vapor úmido o condensado se forma por precipitação da própria umidade.
- Em tubulações de vapor saturado o condensado aparece em conseqüência das perdas de calor por irradiação ao longo da linha.
- Em tubulações de vapor saturado ou superaquecido o condensado pode aparecer em conseqüência do arrastamento de água, proveniente da caldeira.

– Em quaisquer tubulações de vapor, o condensado sempre se forma na entrada em operação do sistema, quando todos as tubos estão frios (warm-up) e, também, quando o sistema é tirado de operação e o vapor vai-se condensando aos poucos no interior dos tubos.

O condensado forma-se também em todos os aparelhos de aquecimento a vapor (serpentinas, refervedores, aquecedores a vapor, autoclaves, estufas etc.), como conseqüência da perda de calor do vapor.

A remoção do condensado do ar e de outros gases existentes nas linhas de vapor deve ser feita pelas seguintes razões:

– Conservar a energia do vapor: a condensado não tem ação motora (máquinas a vapor) nem ação aquecedora eficiente (o vapor aquece cedendo o calor latente de condensação). A entrada ou a permanência do condensado nos aparelhos de aquecimento diminui grandemente a eficiência desses aparelhos.
– Evitar vibrações e golpes de aríete nas tubulações, causados pelo condensado, quando empurrado pelo vapor em alta velocidade. Esses golpes ocorrem principalmente nas mudanças de direção, extremos de tubulações, válvulas etc., porque as velocidades usuais para o vapor são muito maiores (20 a 100 vezes) do que as usadas para água e, também, porque o condensado é incompressível.
– Evitar a erosão rápida das palhetas das turbinas, que seria causada pelo impacto das gotas de condensado.
– Diminuir os efeitos da corrosão. O condensado combina-se com o CO_2 existente no vapor formando o ácido carbônico, de alta ação corrosiva.

– Evitar a redução da seção transversal útil de escoamento do vapor devido a acumulação do condensado.
– Evitar o resfriamento do vapor em conseqüência da mistura com o ar e outros gases.

4.2 CASOS TÍPICOS DE EMPREGO DE PURGADORES

Os purgadores de vapor são empregados em dois casos típicos:

1) Para eliminação do condensado formado nas tubulações de vapor em geral (drenagem de tubulações de vapor).

2) Para reter a vapor nos aparelhos de aquecimento a vapor (aquecedores a vapor, serpentinas de aquecimento, autoclaves, estufas etc.), deixando sair apenas o condensado.

A distinção entre esses dois casos convém que seja claramente entendida, porque o sistema de instalação do purgador, em um caso ou em outro, é completamente diferente.

Quando instalados com a finalidade de drenar linhas de vapor, os purgadores são colocados em uma derivação da tubulação, como mostra a Fig. 27. Essa derivação deve sair de uma bacia denominada "acumulador de condensado" (drip-pocket) instalada na parte inferior da tubulação de vapor. O condensado deve sempre ser capaz de correr por gravidade para dentro do acumulador. A tubulação de entrada do purgador deve estar ligada diretamente ao acumulador.

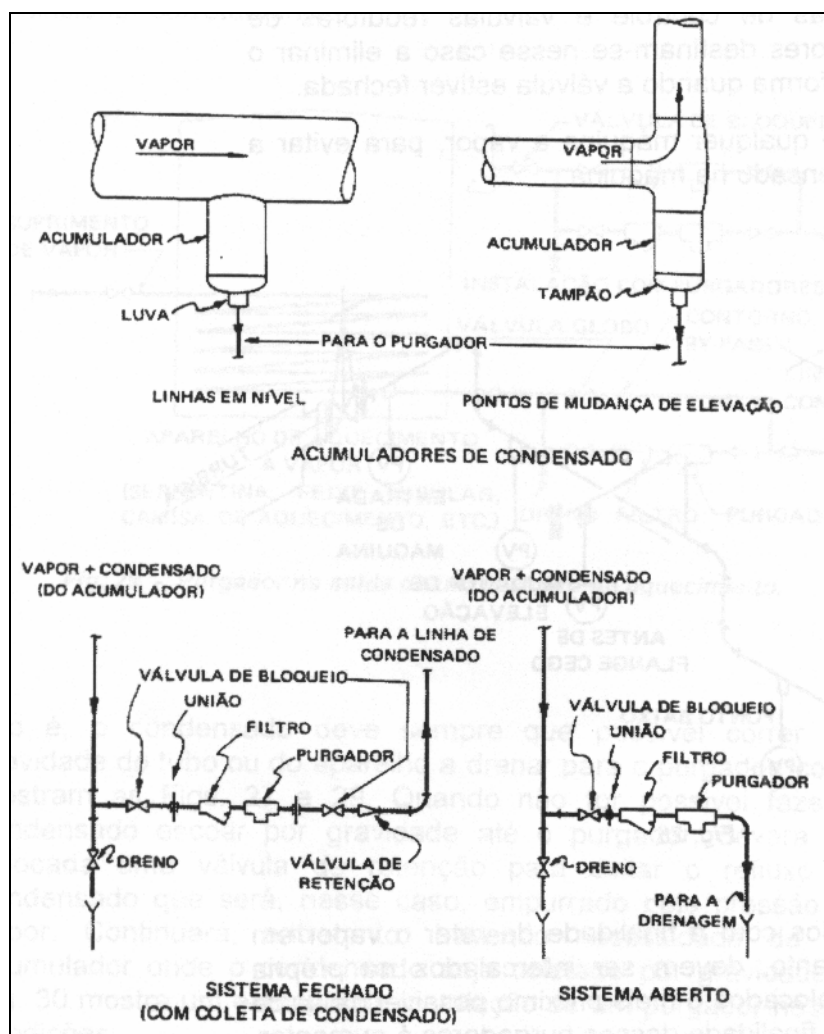
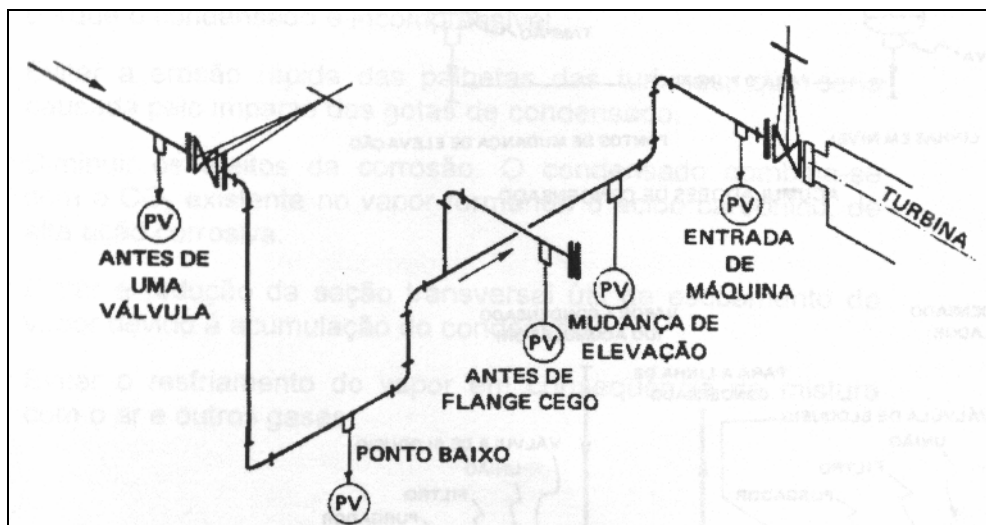



Fig. 27 - Purgador para drenagem de linhas do vapor.

Devem ser colocados obrigatoriamente purgadores para drenagem de condensado nos seguintes pontos de todas as tubulações de vapor, como mostra a Fig. 28:

– Todos os pontos baixos e todos os pontos de aumento de elevação (colocados, nesses casos, na elevação mais baixa). Denomina-se ponto baixo qualquer trecho de tubulação em elevação inferior aos trechos adjacentes.

– Nos trechos de tubulação em nível, deve ser colocado um purgador em cada 100m a 250m; quanto mais baixa for à pressão do vapor mais numerosos deverão ser os purgadores.
– Todos os pontos extremos (no sentido do fluxo) fechados com tampões, flanges cegos, bujões etc.
– Imediatamente antes de todas as válvulas de bloqueio, válvulas de retenção, válvulas de controle e válvulas redutoras de pressão. Os purgadores destinam-se nesse caso a eliminar o condensado que se forma quando a válvula estiver fechada.

Próximo a entrada de qualquer máquina a vapor, para evitar a penetração de condensado na máquina.

Os purgadores instalados com a finalidade de reter o vapor em aparelhos de aquecimento, devem ser intercalados na própria tubulação de vapor e colocados o mais próximo possível da saída do aparelho (Fig. 29). A finalidade desses purgadores é aumentar, ao máximo o tempo de permanência do vapor dentro do aparelho, para que o vapor possa ceder todo o seu calor. Se não houvesse o purgador, a vapor circularia continuamente a alta velocidade, e para que a troca de calor fosse a mesma, o comprimento da tubulação de vapor dentro do aparelho teria de ser enorme. Não havendo o purgador teríamos assim um consumo exagerado

com desperdício de vapor e, conseqüentemente, um baixo rendimento global do sistema de aquecimento. A instalação do purgador representa sempre considerável economia de vapor e, portanto, de combustível e de dinheiro. Por todas essas razões e obrigatória a colocação de purgadores de vapor na saída de qualquer aparelho de aquecimento a vapor.

4.3 DETALHES DE INSTALAÇÃO DOS PURGADORES DE VAPOR

Damos a seguir algumas recomendações sobre detalhes de Instalação dos purgadores:

1. Os purgadores devem de preferência ser colocados abaixo da cota da geratriz inferior do tubo a drenar, para que possam funcionar corretamente.

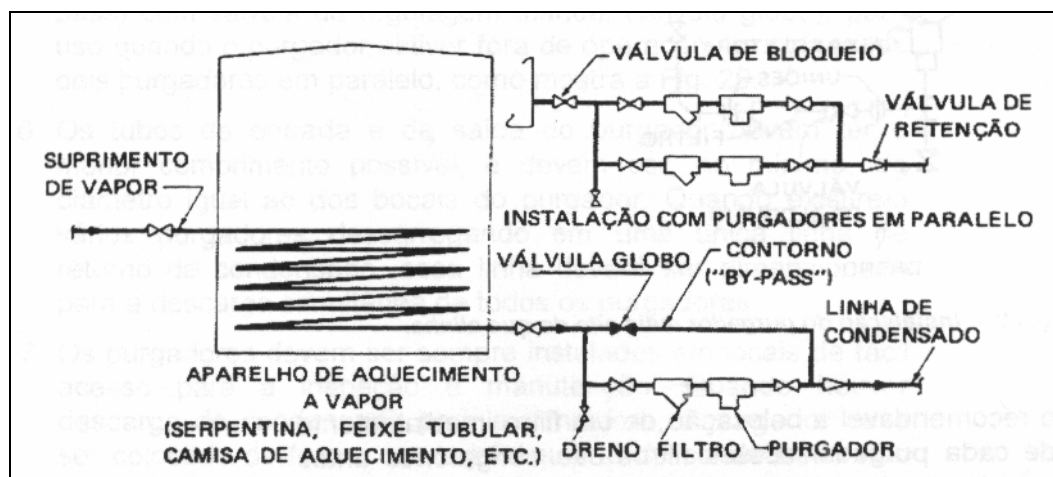



Fig. 29 - Purgador na saída de um aparelho do aquecimento.

Isto é, o condensado deve sempre que possível correr por gravidade do tubo ou do aparelho a drenar para o purgador, como mostram as Figs. 27 e 29. Quando não for possível fazer o condensado escoar por gravidade até o purgador, deverá ser colocada uma válvula de retenção para evitar o refluxo do condensado que será, nesse caso, empurrado pela pressão do vapor. Continuará, entretanto, havendo

necessidade de um acumulador onde o condensado seja coletado por gravidade; a Fig. 30 mostra um exemplo de instalação de um purgador nessas condições.

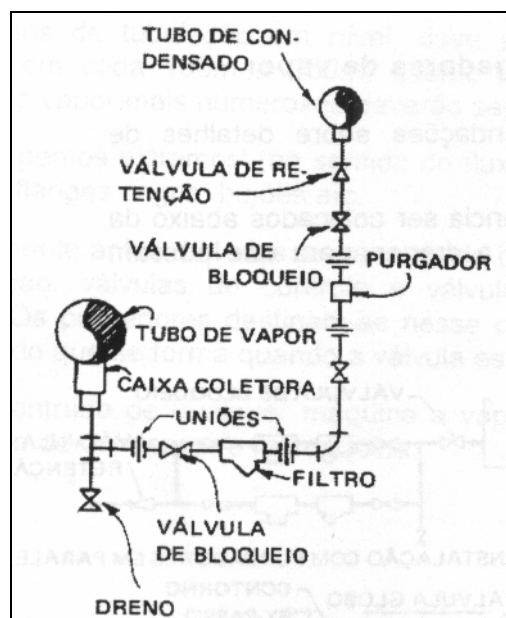



Fig 30 - Instalação do purgador mais alto do que a linha.

2. É muito recomendável a colocação de um filtro imediatamente antes de cada purgador. Esses filtros são obrigatórios antes dos purgadores de bóia e termostáticos. Existem alguns purgadores que já possuem um filtro no próprio corpo, dispensando assim a instalação de um filtro externo.

3. A descarga dos purgadores pode ser feita de dois modos:

– Descarga livre, isto é, o condensado é lançado fora do purgador e recolhido no sistema de drenagem do local (Fig 27)

– Descarga para uma rede de tubulações que faz retornar o condensado à caldeira (Figs. 27, 29 e 30). Esse sistema é empregado quando for justificável economicamente a recuperação do condensado. As tubulações de retorno devem ter a menor perda de carga possível para não criarem contrapressão nos purgadores que, como veremos adiante, reduz muito a capacidade desses aparelhos.

4. Quando a purgador tiver descarga livre, basta colocar uma válvula de bloqueio antes do purgador, e uma válvula de dreno para descarregar o condensado quando o purgador estiver fora de operação (Fig. 27).

Note-se que na descarga de um purgador para a atmosfera há sempre escapamento visível de vapor, dando a impressão que o purgador está defeituoso, porque deixa escapar vapor. Esse vapor que se vê é, entretanto, em sua maior parte, o que se chama "vapor de descompressão" ou “de reevaporação" (flash steam), proveniente da vaporização do condensado, depois da saída do purgador, por efeito da descompressão para a atmosfera.

5. Quando o purgador descarregar para uma linha de retorno a instalação deve ser feita como mostra a fig. 29, com duas válvulas de bloqueio, antes e depois, e válvula de dreno. É preferível que a linha de retorno do condensado esteja situada abaixo do purgador. Caso essa disposição não seja possível, a linha de retorno deverá ter uma válvula de retenção para impedir o refluxo do condensado (Fig. 30), e a diferença de cotas até o purgador deverá ser a menor possível. Em tubulações de funcionamento contínuo, em que haja retorno do condensado, deve ser prevista uma tubulação de contorno (by-pass) com válvula de regulagem manual (válvula globo), para uso quando o purgador estiver fora de operação, ou colocados dois purgadores em paralelo, como mostra a Fig 29.

6. Os tubos de entrada e de saída do purgador devem ter o menor comprimento possível, e devem ser, no mínimo, de diâmetro igual ao dos bocais do purgador. Quando existirem vários purgadores descarregando em uma única linha de retorno de condensado, essa linha deverá ser dimensionada para a descarga simultânea de todos os purgadores.

7. Os purgadores devem ser sempre instalados em locais de fácil acesso para a inspeção e manutenção. Quando houver descarga de condensado para a

atmosfera, o purgador deve ser colocado de forma que o jato quente de condensado não atinja pessoas ou equipamentos. Deve ser previsto sempre um meio fácil de desmontagem e remoção do purgador e do filtro, o que geralmente se consegue por meio de uniões, como mostram as Figs. 27 e 30.

8. Para tubulações de diâmetro nominal até 3", inclusive, a bacia de acumulação de condensado deve ser do mesmo diâmetro da tubulação. Para diâmetros nominais de 4” ou maiores, a bacia pode ser de diâmetro menor.

4.4 PRINCIPAIS TIPOS, DE PURGADORES DE VAPOR

Os purgadores de vapor podem ser classificados em três categorias gerais:

– Purgadores mecânicos - Agem por diferença de densidades
  - Purgadores de bóia.
  - Purgadores de panela invertida.
  - Purgadores de panela aberta.

– Purgadores termostáticos -Agem por diferença de temperatura
  - Purgadores de expansão metálica.
  - Purgadores de expansão líquida.
  - Purgadores de expansão balanceada (de fole).

– Purgadores especiais.
  - Purgadores termodinâmicos.
  - Purgadores de impulso

Daremos a seguir a descrição, características e emprego dos tipos mais usuais de purgadores:

1. Purgador de bóia - Esse purgador consiste em uma caixa com uma entrada de vapor e uma saída de condensado (Fig. 31). A saída do condensado é fechada por uma válvula comandada por uma bóia; quando há condensado, a bóia flutua abrindo a saída do condensado, que é expulso pela própria pressão do vapor. é necessário que a força de flutuação da bóia seja suficiente, através de alavancas, para vencer a pressão do vapor que tende sempre a fechar a válvula.

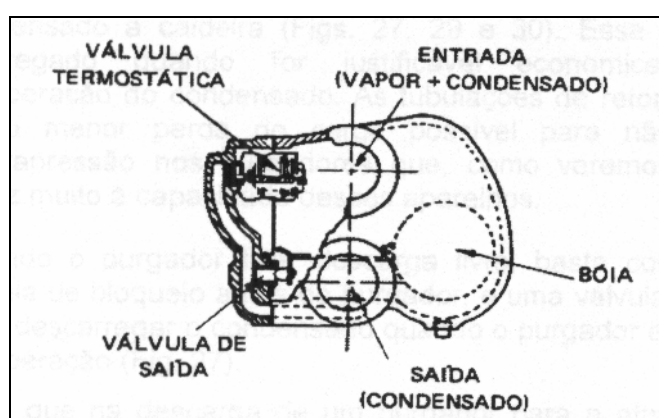



Fig. 31 - Purgador de bóia.

O purgador de bóia não permite a saída de ar e de outros gases; é, porém, praticamente insensível às flutuações de pressão e de vazão do vapor. Alguns purgadores de bóia modernos possuem uma válvula termostática na parte superior, pela qual o ar e os gases podem ser eliminados. Dependendo da quantidade de condensado a descarga poderá ser contínua ou intermitente. Devido a possibilidade de terem descarga contínua, os purgadores de bóia são muito empregados para reter o vapor na saída de aparelhos de aquecimento. Esses purgadores são fabricados com bocais rosqueados até 3” de diâmetro, com capacidade de eliminação de condensado de até 50.000 kg/hora e para pressões de vapor de ate 35 kg/cm^2. Os purgadores de bóia não podem trabalhar com pressões muito elevadas, que tenderiam a achatar a bóia. Dependendo da pressão, a caixa pode ser de ferro fundido ou aço fundido; as peças internas são quase sempre de aço inoxidável.

2. Purgador de panela invertida (inverted bucket) - É um tipo de purgador muito usado para a drenagem de tubulações de vapor. Consiste em uma caixa com entrada de vapor e saída de condensado, dentro da qual existe uma panela com o fundo para cima, comandando a válvula que fecha a saída do condensado (Fig. 32).

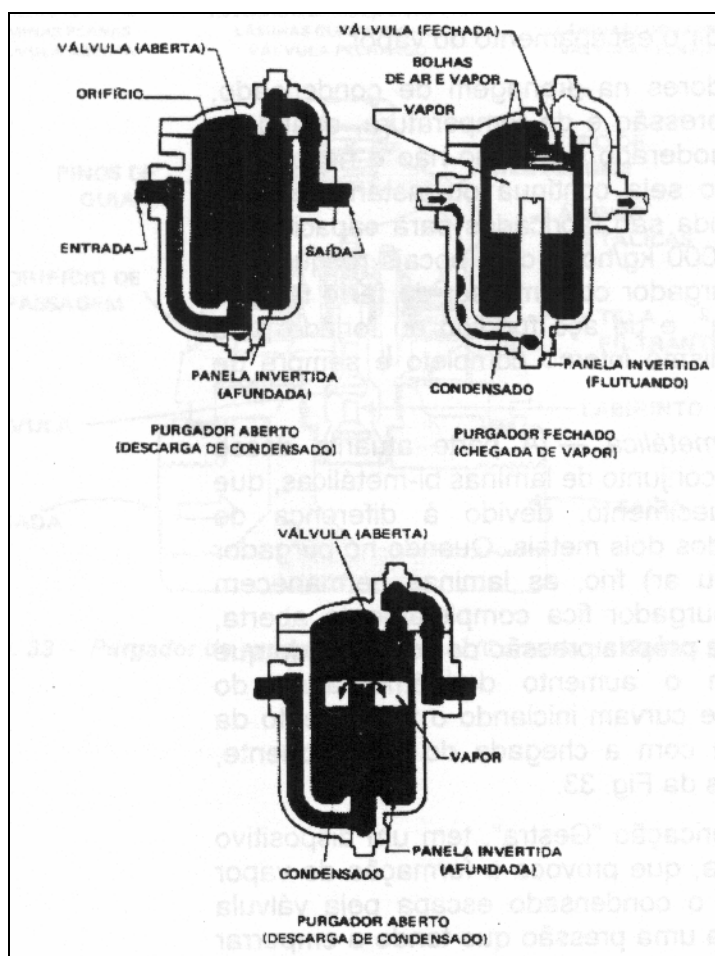



Fig. 32 - Purgador de panela invertida.
(Cortesia de Armstrong Machine Works).

Para o início de operação o purgador deve estar previamente cheio de água; a panela fica então pousada no fundo, abrindo a válvula, por onde sai o excesso de água, impelida pelo vapor.

O vapor quando chega, é lançado dentro da panela, de onde vai sendo expulsa a água (que escapa pela saída), até que a quantidade de água dentro da panela, ficando pequena, faz com que a panela flutue, fechando a válvula de saída. O ar contido sai pelo pequeno furo existente no fundo da panela, por onde escapa também um pouco de vapor; o ar acumula-se no topo do purgador e o vapor condensa-se por saturação do ambiente. Chegando mais condensado, ou condensando-se o vapor, a panela enche-se de água, perde flutuação e afunda, abrindo a válvula. A pressão do vapor faz então sair o ar acumulado e o condensado, até que, diminuindo a quantidade de condensado dentro da panela, a flutuação é restabelecida fechando-se a válvula e repetindo-se assim o ciclo.

Note-se que esse purgador precisa estar cheio de água, isto é, escovado, para o início do funcionamento: Se estiver seco, o vapor escapará continuamente até que o condensado arrastado, consiga encher o purgador e dar início aos ciclos. Observe-se também que durante todo o ciclo o purgador tem sempre uma certa quantidade de condensado no seu interior, que constitui justamente o selo para impedir o escapamento do vapor.

Empregam-se esses purgadores na drenagem de condensado, para quaisquer valores da pressão e da temperatura, quando o volume de ar a eliminar é moderado e quando não é necessário que a saída do condensado seja contínua ou instantânea. Os purgadores de panela invertida são fabricados para capacidades de eliminação, de 250 a 15.000 kg/hora, com bocais rosqueados de 1/2" a 2". O corpo do purgador costuma ser de ferro fundido para pressões até 35 kg/cm^2, e de aço fundido ou forjado para pressões maiores. O mecanismo interno completo é sempre de aço inoxidável.

3. Purgador de expansão metálica - A parte atuante desse purgador consiste em um conjunto de laminas bi-metálico, que se curvam com o aquecimento, devido a diferença de coeficientes de dilatação dos dois metais. Quando no purgador só existe condensado (ou ar) frio, as laminas permanecem planas, e a válvula do

purgador fica completamente aberta, empurrada para baixo pela própria pressão do condensado que escapa para fora. Com o aumento de temperatura do condensado as laminas se curvam iniciando o fechamento da válvula, que se completa com a chegada do vapor quente, como mostram os detalhes da Fig. 33.

O modelo da fig. 33, de fabricação "Gestra", tem um dispositivo auxiliar de labirinto na válvula, que provoca a formação de vapor de descompressão, quando o condensado escapa pela válvula semi-aberta. Esse vapor gera uma pressão que tende a empurrar a válvula para baixo, opondo-se à ação das laminas bi-metálicas.
O balanceamento entre os dois efeitos é de tal forma que a abertura da válvula praticamente acompanha a curva de pressão / temperatura do vapor saturado, para uma larga faixa de variação de pressão, sendo assim mínima a perda de vapor, mesmo em condições variáveis de pressão ou de temperatura.

4. Purgador termostáticos de fole - Esse purgador consiste em uma caixa contendo no interior um pequeno fole que comanda a válvula de saída do condensado. O fole contém um líquido de ponto de ebulição inferior ao da água (Fig 34). O purgador funciona pela diferença de temperatura que existe sempre, para a mesma pressão, entre o vapor e o condensado. O vapor, por ser mais quente, vaporiza o líquido dentro do fole, que se dilata e fecha a válvula, impedindo a saída do vapor. O condensado e o ar, como são mais palmente quando se tem grande volume de ar a eliminar. A descarga do condensado é intermitente, demorada, e a perda de vapor é relativamente grande. Não pode ser empregado para vapor superaquecido.

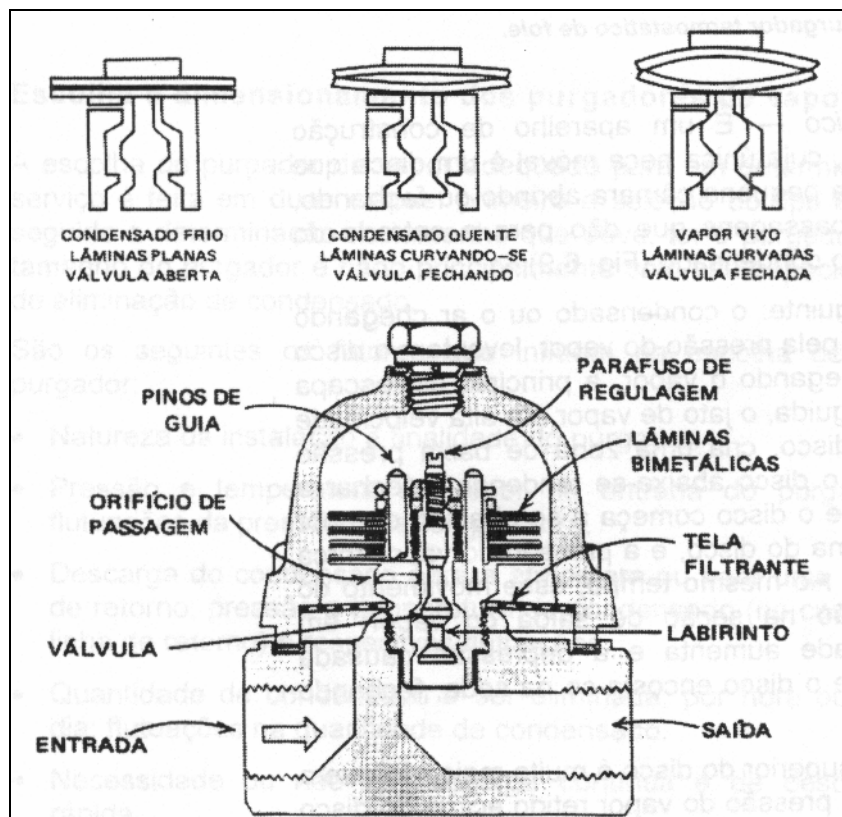



Fig. 33 - Purgador de expansão metálica.
(Cortesia de Gestra Latino Americana).

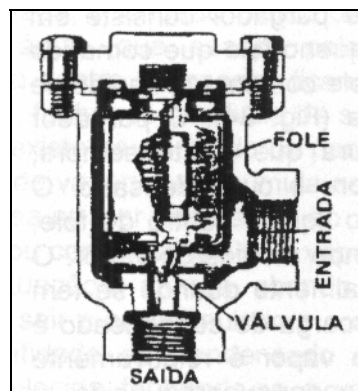



Fig. 34 - Purgador termostáticos de fole.

5. Purgador termodinâmico - É um aparelho de construção extremamente simples, cuja única peça móvel e um disco que trabalha dentro de uma pequena câmara abrindo ou fechando, simultaneamente, as passagens que dão para a entrada do vapor e para a saída do condensado (Fig. 6.9).

O funcionamento é o seguinte: o condensado ou o ar chegando ao purgador, empurrados pela pressão do vapor, levantam o disco e escapam para fora. Chegando o vapor, a princípio ele escapa também; mas logo em seguida, o jato de vapor em alta velocidade passando par baixo do disco, cria uma zona de baixa pressão (teorema de Bernoulli) e o disco abaixa-se tendendo a fechar a saída do vapor. Assim que o disco começa a se abaixar, o vapor passa para a câmara acima do disco, e a pressão do vapor força então o disco para baixo. Ao mesmo tempo, esse movimento do disco causa uma redução na seção de saída do vapor; em conseqüência, a velocidade aumenta e a depressão causada aumenta também, até que o disco encosta-se na sede, fechando a saída do vapor.

Como a área útil da face superior do disco e muito maior do que a área útil da face inferior, a pressão do vapor retido acima do disco mantém o purgador fechado, com o disco apertado contra a sede, enquanto houver vapor quente no purgador. Com a chegada do condensado (mais frio do que o vapor), o vapor retido acima do disco começa a se condensar, perde pressão e o disco levanta-se, repetindo-se todo o ciclo novamente, Note-se que a velocidade de escoamento do vapor é sempre muito maior do que a velocidade do condensado, devido ao grande volume específico do vapor.

Se quando o purgador se abrir, em conseqüência da condensação do vapor retido acima do disco, não houver condensado para sair, escapará um pouco de vapor em alta velocidade que preenchendo o espaço acima do disco, fechará de novo rapidamente o purgador.

Esse purgador barato, pequeno, simples e de baixa manutenção, está sendo usado cada vez mais para linhas de vapor e para linhas de aquecimento, desde que a quantidade de condensado não seja muito grande. Não deve ser usado quando a contrapressão do condensado for maior do que 50% da pressão do vapor ou quando a pressão do vapor for inferior a 0,7 kg/cm^2. Pode entretanto ser empregado para altas pressões e altas temperaturas. O purgador fecha-se instantaneamente,

podendo provocar um forte golpe na tubulação. Esses aparelhos são fabricados com bocais rosqueados, de diâmetros nominais de 3/8" a 1", para capacidades de eliminação de condensado ate 3.000 kg/hora. Por serem peças pequenas e sujeitas a severas condições de corrosão e erosão, esses purgadores são construídos integralmente de aço inoxidável.

4.5 ESCOLHA E DIMENSIONAMENTO DOS PURGADORES DE VAPOR

A escolha do purgador de vapor adequado para um determinado serviço é feita em duas etapas: primeiro a seleção do tipo e em seguida a determinação do tamanho que deve ter o purgador. O tamanho do purgador é dado principalmente com sua capacidade de eliminação de condensado.

São os seguintes os fatores que influem na escolha de um purgador:

- Natureza da instalação e finalidade do purgador;
- Pressão e temperatura do vapor na entrada do purgador; flutuações da pressão e da temperatura;
- Descarga do condensado para a atmosfera ou para uma linha de retorno; pressão e temperatura do condensado (no caso de linha de retomo) e respectivas flutuações;
- Quantidade de condensado a ser eliminada, por hora ou por dia; flutuações na quantidade de condensado;
- Necessidade ou não de descarga contínua e de descarga rápida;
- Perda admitida de vapor vivo;
- Quantidade de ar e de outros gases presentes no vapor;
- Ocorrência de golpes de ariete ou de vibrações na tubulação;
- Ação corrosiva ou erosiva do vapor ou do condensado;
- Facilidades necessárias de manutenção;

– Custo inicial.

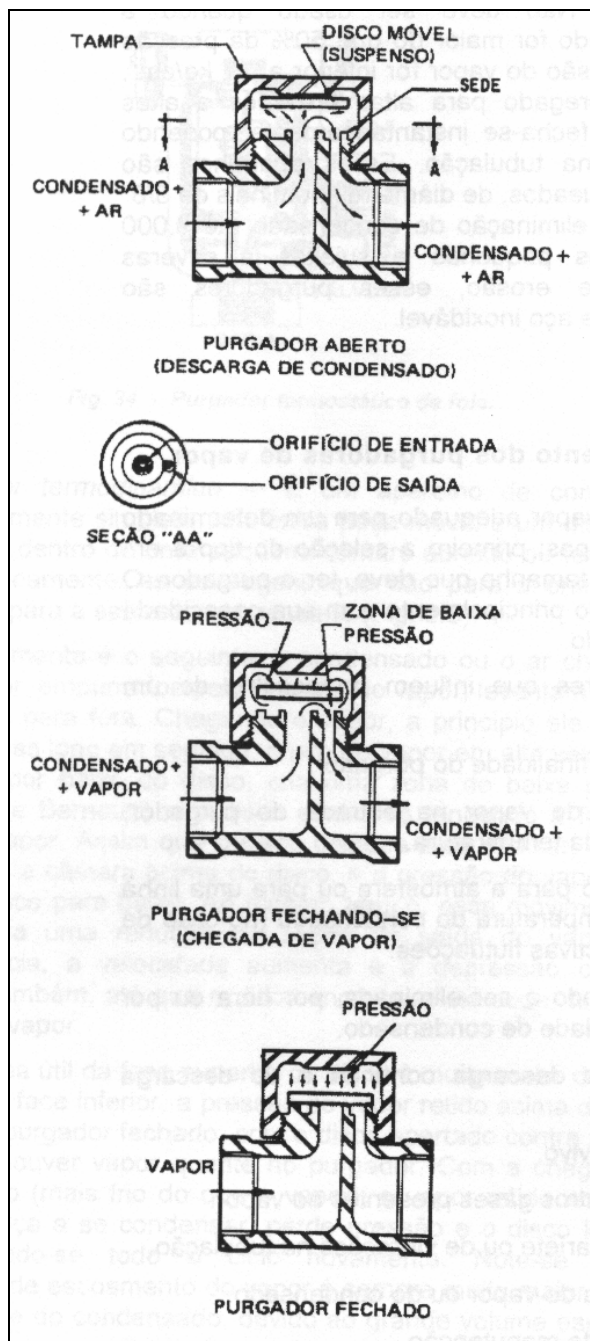



Fig. 35 – Purgador termodinâmico.
(Cortesia de Sarco Company Inc.)

Damos a seguir, nas tabelas 4 e 5, um quadro resumo comparativo das principais características dos tipos mais importantes de purgadores de vapor e recomendações sobre seleção de purgadores para alguns casos típicos de emprego.

Tabela 4

CARACTERÍSTICAS DOS PURGADORES

TIPO	Pressão máxima do vapor (kg/cm^2)	Capacidade máxima (kg/h)	Permite descarga contínua	Eliminação do ar	Resistência a golpes de aríete	Perdas de Vapor	Necessidade de manutenção
Bóia	35	50.000	Sim	Pode ser	Não	Pouca	Regular
Panela invertida	180	15.000	Não	Sim	Sim	Pouca	Bastante
Panela aberta	100	6.000	Não	Sim	Sim	Pouca	Bastante
Expansão metálica	50	4.000	Pode ser	Sim	Sim	Bastante	Regular
Expansão líquida	35	4.000	Pode ser	Sim	Não	Bastante	Regular
Expansão balanceada	35	1.000	Pode ser	Sim	Não	Bastante	Regular
Termodinâmico	100	3.000	Não	Sim	Sim	Regular	Quase
Impulso	100	5.000	Não	Não	Sim	Regular	Quase

Tabela 5

CASOS TÍPICOS DE EMPREGO DE PURGADORES

Serviço	Condições		Tipos recomendados	Coeficiente de segurança
Drenagem de tubulações de vapor (com retorno de condensado)	Vapor saturado	Alta pressão (+ de 20kg/cm^2)	B	2
		Média pressão (até 20 kg/cm^2)	B – C	2
		Baixa pressão (até 2 kg/cm^2)	C – B	3
	Vapor superaquecido	Alta pressão (+ de 20kg/cm^2)	B – C	2
		Média pressão (até 20 kg/cm^2)	C – B	2
		Baixa pressão (até 2 kg/cm^2)	C – B	3
Drenagem de Tubulações de vapor (sem retorno de condensado)	Vapor superaquecido	Pressões até 1 kg/cm^2	C	2
	Ou saturado	Pressões maiores do que 1 kg/cm^2	D	3
Aquecimento de tubulações	-----	-----	D	3
Aparelhos de aquecimento a vapor	Altas vazões (mais de 4.000 kgh/h)	Vazão constante Vazão variável	A – B C – A	2 4
	Médias e baixas vazões (até 4.000 kg/h)	Vazão constante Vazão variável	A – C C – A	2 4
Serpentinas de tanques	-----	-----	B – A	3

Para a determinação da pressão do vapor na entrada do purgador devem ser levadas em conta as perdas de carga que se derem até o purgador. Da mesma forma, quando a descarga do condensado se faz para uma linha de retorno, as perdas de carga nessa linha têm de ser consideradas para se obter a pressão do condensado na saída do purgador. Se as condições de pressão do vapor, do

condensado, ou de ambos, forem variáveis, o purgador deverá ser selecionado para a mínima pressão do vapor e para a máxima pressão do condensado, isto é, para a menor pressão diferencial entre a entrada e a saída do aparelho.

Para qualquer purgador a capacidade de eliminação é sempre função da pressão diferencial através do purgador e da temperatura do condensado. Quanto menor for à pressão diferencial menor será a capacidade de eliminação e vice-versa. A capacidade diminui também com o aumento de temperatura do condensado, devido a maior formação de vapor de descompressão na saída do purgador. Por essa razão, todos esses aparelhos devem ser dimensionados em função da menor pressão diferencial e da maior temperatura do condensado possíveis de ocorrer.

A quantidade de condensado a ser eliminada é o dado mais difícil de se estabelecer, porque depende de um grande número de fatores muito variáveis. No item a seguir veremos com mais detalhes como se pode avaliar essa quantidade.

Fixado o tipo de purgador e calculadas a pressão diferencial mínima e a quantidade de condensado, a escolha do modelo adequado resume-se a uma consulta aos catálogos dos fabricantes. Esses catálogos dão, em geral, para cada modelo de purgador, a capacidade de eliminação em função da pressão diferencial.

4.6 CÁLCULO DA QUANTIDADE DE CONDENSADO A ELIMINAR

Para a avaliação da quantidade de condensado a eliminar temos que distinguir os dois casos gerais de emprego dos purgadores de vapor vistas no Sub-titulo Casos Típicos de emprego de purgadores:

- Purgadores para a drenagem de linhas de vapor

- Purgadores para reter vapor na saída de aparelhos de aquecimento.

Para os purgadores que se destinam a drenagem de linhas de vapor, a quantidade de condensado pode ser calculada pela seguinte expressão.

$C = n (Q_a + 0,5\ Q_s)$

Em que:

Q = quantidade total de condensado (a capacidade eliminação do purgador deverá ser igual ou maior do que Q)

n = coeficiente de segurança (veja Tab. 5).

Qa= quantidade de condensado formado em conseqüência da perda de calor sofrida pelo vapor para aquecer a tubulação, no inÍcio do funcionamento do sistema.

Q_s= quantidade de condensado formado em conseqüência das perdas de calor por irradiação, com a tubulação em operação normal.

Os valores de Q_a e Q_s dependem de um grande número de fatores, alguns dos quais difíceis de se exprimir quantitativamente. Existem muitas tabelas e gráficos dando os valores de Q_a e Q_s, para diversos tipos de instalação, diâmetros de tubos e classes de isolamento térmico. Na falta de outros elementos essas grandezas podem ser calculadas pelas formulas abaixo (Q_a Q_s dados em Ib/hora):

$$Q_a = \frac{6,84 L w \Delta t}{Q_L N}$$

$$Q_s = \frac{L a \Delta t U}{Q_L}$$

L = comprimento da tubulação (pés).

w = peso unitário do tubo vazio (lb/pe).

Δt = diferença de temperaturas entre o vapor e o ambiente (^oF).

Qt = calor latente do vapor na temperatura final (Btu).

N = número de minutos de duração do aquecimento dos tubos (toma-se geralmente N = 5).

a = área lateral unitária do tubo (pé^2/pé)

U = perda unitária de calor através do isolamento térmico Para o isolamento usual de hidrossilicato de cálcio ou de 85% Mg com 2" de espessura, tem-se U = 0,286 Btu/pé^2/^{o}F/hora.

As fórmulas valem apenas para o caso de tubos de aço situados em local exposto ao tempo embora relativamente abrigado.

O valor do coeficiente de segurança n varia de 2 a 5, adotando-se geralmente os valores recomendados pelos fabricantes de purgadores de vapor para cada caso específico. Para tubos usuais de vapor costuma-se tomar um valor de 2 a 3 para esse coeficiente. Os dois primeiros purgadores na linha de saída de uma caldeira devem ser superdimensionados (coeficiente de segurança = 4), para serem capazes de eliminar a água arrastada pelo vapor. Devem-se também adotar valores altos para o coeficiente de segurança quando a quantidade de ar ou de outros gases for muito grande ou quando não for possível calcular com razoável precisão a quantidade de condensado a eliminar. Convém observar que não se devem ter purgadores muito superdimensionados, porque a maioria desses aparelhos trabalharia mal nessas condições.

A quantidade de condensado formada para o aquecimento inicial da tubulação (Q_a) é sempre bem superior a quantidade de condensado conseqüente das perdas por irradiação (Q_s) sendo essa diferença tanto maior quanto melhor for o isolamento térmico da tubulação. Por essa razão, a fórmula, embora seja de uso corrente, conduz a purgadores bastante superdimensionados em relação a quantidade de condensado formada em serviço normal.

Algumas vezes dependendo do tipo da instalação e a critério do projetista, Os purgadores poderão ser dimensionados apenas para o valor de Q_s. Nesse caso é necessário que os drenos da tubulação sejam sempre completamente abertos durante os períodos de aquecimento do sistema, porque os purgadores não serão capazes de eliminar a grande quantidade de condensado que se forma nessa ocasião. Esse procedimento não é muito comum porque coloca o funcionamento da instalação na dependência de uma operação manual que é freqüentemente de difícil execução e controle.

A quantidade de condensado a eliminar nos purgadores colocados na saída de aparelhos de aquecimento depende essencialmente da natureza de tais aparelhos, e será igual a quantidade de vapor consumida pelo aparelho. Esse dado terá portanto, de ser obtido do fabricante ou do operador do aparelho de aquecimento em questão.

4.7 OUTROS DISPOSITIVOS SEPARADORES

Além dos purgadores de vapor, vários outros dispositivos separadores são também usuais em tubulações industriais As operações mais comumente efetuadas por esses aparelhos são as seguintes:

- Separação de água e/ou óleo em tubos de ar comprimido e de outros gases.
- Separação de poeiras e sólidos em suspensão em tubos de ar e de gases diversos.
- Separação de ar e/ou água em tubos de gasolina e de outros líquidos leves.

– Separação de ar em tubos de vapor.

São os seguintes os princípios gerais de funcionamento da maioria desses aparelhos:

– Flutuação.
– Inércia.
– Capilaridade.
– Absorção.

Alguns separadores aproveitam-se simultaneamente de mais de um dos mencionados fenômenos.

Os aparelhos que trabalham por flutuação são inteiramente semelhantes aos purgadores de bóia, já vistos, sendo empregados na separação e eliminação de água e de outros líquidos nas tubulações de ar e de gases em geral. Esses separadores que são sempre peças pequenas (fabricadas até 2" de diâmetro nominal) são muito usados para a drenagem da água que se forma em tubulações de ar comprimido, sendo as vezes denominados de "purgadores de água".

O princípio da inércia é utilizado nos aparelhos destinados a separar líquidos e sólidos em suspensão (inclusive poeiras) em tubulações de gases. Nesses separadores a corrente de gás, carregada de partículas líquidas ou sólidas, é obrigada a mudar de direção várias vezes a grande velocidade. Nessas mudanças de direção as partículas líquidas ou sólidas separam-se por serem mais pesadas (devido a inércia) sendo então recolhidas e eliminadas. Em alguns desses separadores a corrente e lançada tangencialmente em uma caixa cilíndrica, ficando animada de um movimento espiralado de alta velocidade. Os ciclones usados para separação de poeiras em correntes gasosas funcionam dessa maneira.

Em outros separadores de inércia as mudanças de direção são conseguidas por meio de chicanas, convenientemente colocadas, que também servem para guiar o líquido coletado; são desse tipo os dois exemplos mostrados na Fig 36. Um tipo muito comum de separadores de chicanas, são os separadores de condensado (denominados, as vezes, de "separadores de vapor") usados em linhas de vapor úmido, ou em linhas em que a quantidade de condensado seja muito grande. Esses aparelhos geralmente funcionam conjugados com um purgador de vapor, que é instalado no dreno do separador, para a eliminação automática do condensado cotetado. A Fig. 36 mostra uma instalação desse gênero.

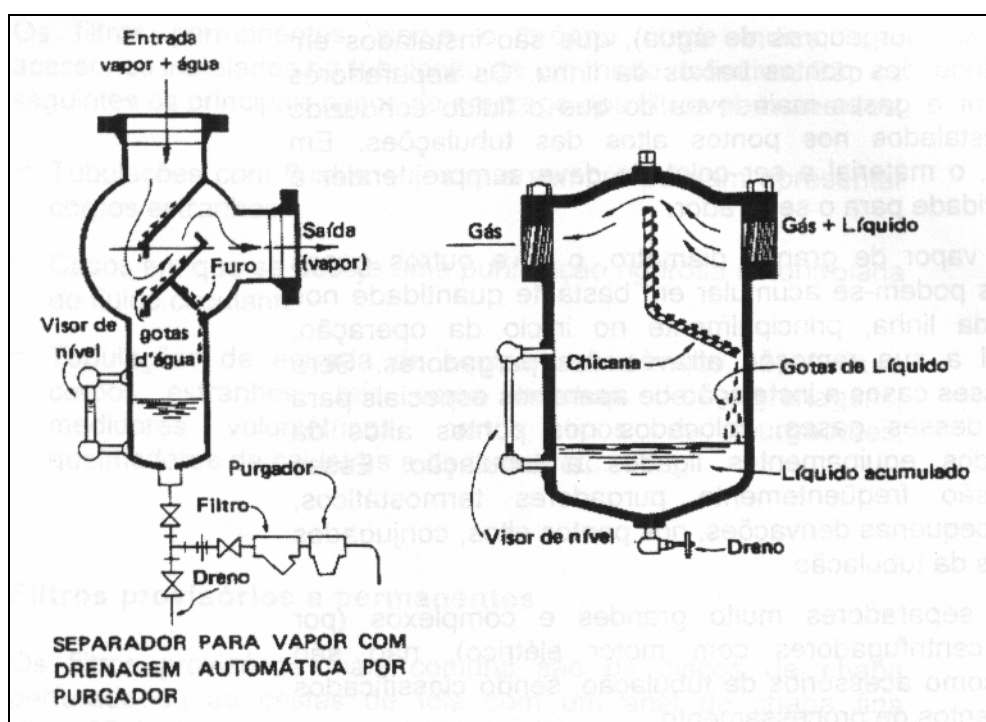



Fig. 36 - Separadores de inércia.

Fabricam-se separadores de chicanas e de ciclone ate 12" de diâmetro nominal, muito usados na eliminação de água, de óleo e de poeiras em linhas de ar comprimido, de vapor e de outros gases.

Os separadores que agem por capilaridade servem principalmente para a coleta e eliminação de ar e de água em tubulações de líquidos leves. Nesses aparelhos a corrente líquida atravessa elementos de tela fina ou de palhas especiais onde se

formam, por diferença de capilaridade, bolhas de ar ou gotículas de água que são depois coletadas.

Os separadores de absorção são aparelhos no interior dos quais existem elementos de substancias especiais capazes de absorver e reter o material que se deseja separar. A veia fluida atravessa esses elementos, onde a absorção se da geralmente por meio de reações químicas. Os elementos absorventes têm uma vida relativamente curta, no fim da qual devem ser substituídos. Os desumidificadores de silica-gel ou de alumina, empregados para remover umidade em correntes de ar ou de outros gases, funcionam segundo esse princípio.

Quase todos os separadores, de qualquer tipo que sejam, costumam ter um pequeno depósito para coleta do material separado, um visor de nível para observação e controle, e uma torneira de dreno funcionando manual ou automaticamente. A instalação dos separadores que coletam material mais pesado do que o fluido conduzido deve ser feita nos pontos baixos das tubulações, de modo semelhante aos purgadores. Esse é o caso, por exemplo, dos separadores de água em tubulações de ar (purgadores de água), que são instalados em derivações saindo dos pontos baixos da linha. Os separadores que eliminam ar e gases mais leves do que o fluido conduzido devem ser instalados nos pontos altos das tubulações. Em qualquer caso, o material a ser coletado deve sempre tender a correr por gravidade para o separador.

Em linhas de vapor de grande diâmetro, o ar e outros gases incompensáveis podem-se acumular em bastante quantidade nos pontos altos da linha, principalmente no início da operação, tornando difícil a sua remoção através dos purgadores. Será necessário nesses casos a instalação de aparelhos especiais para a eliminação desses gases, colocados nos pontos altos da tubulação e dos equipamentos ligados a tubulação. Esses separadores são freqüentemente purgadores termostáticos, instalados em pequenas derivações, nos pontos altos, conjugados com os respiros da tubulação.

Os aparelhos separadores muito grandes e complexos (por exemplo, os centrifugadores com motor elétrico) não são considerados como acessórios de tubulação, sendo classificados como equipamentos de processamento.

4.8 FILTROS PARA TUBULAÇOES

Os filtros (strainers, filters) são também aparelhos separadores destinados a reter poeiras, sólidos em suspensão e corpos estranhos, em correntes de líquidos ou de gases. São de uso comum em tubulações industriais duas classes de filtros: provisórios e permanentes.

Os filtros provisórios são peças que se intercalam nas tubulações, próximo aos bocais de entrada dos equipamentos (bombas, compressores, turbinas etc.), para evitar que sujeiras e corpos estranhos deixados nas tubulações durante a montagem, penetrem nesses equipamentos quando o sistema for posto em funcionamento. Depois que as tubulações já estiverem em funcionamento normal por algum tempo e, portanto, tiverem sido completamente lavadas pelo próprio fluido circulante, Os filtros provisórios deverão ser removidos.

É obrigatória a colocação de filtros provisórios na entrada de todos os equipamentos que possam ser danificados pela presença de corpos estranhos, porque, por mais bem feita que tenha sido a limpeza prévia das tubulações após a montagem, é impossível garantir-se que não haja no interior das mesmas poeiras, terra, ferrugem, rebarbas de solda, pontas de eletrodos e outros materiais estranhos.

Os filtros permanentes, como o próprio nome indica, são acessórios instalados na tubulação de um modo definitivo. São os seguintes os principais casos de emprego dos filtros permanentes:

– tubulações com fluidos subs que sempre possam apresentar corpos estranhos.

– Casos em que Se deseje uma purificação rigorosa e controlada do fluido circulante.

– Tubulações de entrada de equipamentos muito sensíveis a corpos estranhos tais como bombas de engrenagens, medidores volumétricos, certos tipos de purgadores, queimadores de caldeiras e de fornos etc.

4.9 FILTROS PROVISÓRIOS E PERMANENTES

Os filtros provisórios mais comuns são os discos de chapa perfurada ou as cestas de tela com um anel de chapa fina (Fig. 37); tanto uns como outros são introduzidos entre dois flanges quaisquer, onde ficam presos. Os filtros de cesta de tela devem ter uma área de filtragem de no mínimo 3 a 4 vezes a seção transversal útil da tubulação.

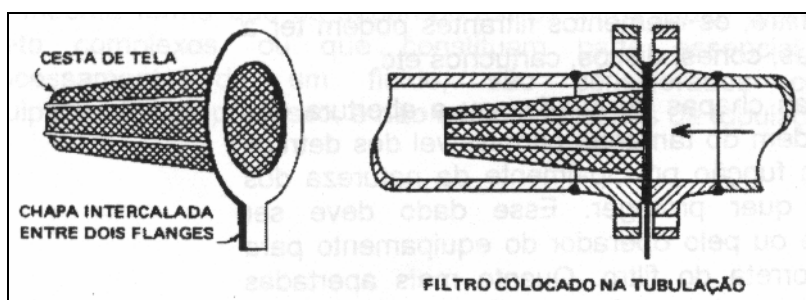



Fig. 37 - Filtro provisório

Para facilitar a colocação e posterior retirada dos filtros provisórios, deve-se colocar uma peça flangeada qualquer (carretel, redução, joelho etc.), na entrada dos equipamentos que devam ser providos de filtros provisórios. O filtro ficará preso a um dos flanges dessa peça, com a cesta de tela dentro da peça; para remover o filtro bastará desacoplar os flanges e retirar a peça inteira.

Os filtros permanentes consistem, geralmente, em uma caixa de aço, de ferro fundido, ou de bronze, com os bocais para as tubulações de entrada e de saída, no interior da qual existem os elementos de filtragem e chicanas para conduzirem a veia fluida (Fig. 38). Os elementos filtrantes e os materiais de construção dos mesmos variam de acordo com o fluido circulante, o grau de filtragem desejado, o tamanho do filtro etc.

Os elementos filtrantes mais comuns são os seguintes:

- Grades metálicas, chapas perfuradas, telas metálicas (filtragem grosseira de líquidos).
- Telas finas, feltro, "nylon”, porcelana, papel, etc. (filtragem fina de líquidos).
- Palhas metálicas, feltro, camurça, etc. (filtragem de gases).

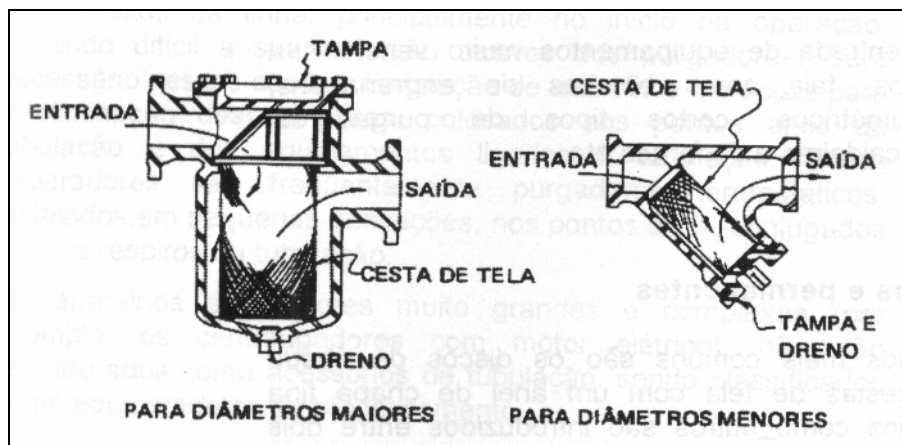



Fig. 38 - Filtros permanentes.

Conforme o modelo do filtro, os elementos filtrantes podem ter a forma de cestas cilíndricas, cones, discos, cartuchos etc.

O diâmetro dos furos nas chapas perfuradas ou a abertura das malhas das telas dependem do tamanho permissível dos detritos que possam passar, em função principalmente da natureza dos equipamentos que se quer proteger. Esse dado deve ser fornecido pelo fabricante ou pelo operador do equipamento para possibilitar a escolha correta do filtro. Quanto mais apertadas forem as aberturas tanto maior será a quantidade de detritos retidos, e assim tanto mais freqüentes deverão ser as limpezas do filtro. Também, quanto menores forem as aberturas tanto menor será a percentagem de área útil de passagem no elemento filtrante e, conseqüentemente, tanto maior terá de ser o tamanho desse elemento e, portanto, do próprio filtro.

Os elementos filtrantes (mesmo nos filtros provisórios) devem ser sempre de materiais resistentes à corrosão: quando metálicos, essas peças devem ser de bronze, aços inoxidáveis, metal Monel etc. A área do elemento filtrante, nos filtros permanentes, deve ser sempre bem maior do que a área da seção transversal do tubo. Essa relação, nos filtros pequenos, varia de 2:1 a 4:1, e nos filtros grandes, de 2½:1 a 8:1.

Todos os filtros, tanto permanentes como provisórios, causam sempre perdas de carga consideráveis na tubulação, perdas essas que aumentam muito a medida que os filtros vão ficando sujos. É muito importante por isso a limpeza periódica de todos os filtros e a remoção dos provisórios, assim que não sejam mais necessários.

Para facilitar a limpeza, todos os filtros permanentes têm um dreno no ponto mais baixo e são desmontáveis, podendo-se retirar, limpar ou trocar os elementos filtrantes sem ser preciso desconectar o filtro da tubulação. Os filtros em linhas de funcionamento contínuo costumam ser duplos, com duas câmaras em paralelo, bloqueáveis com válvulas, de maneira que possa uma câmara estar trabalhando enquanto a outra estiver sendo limpa ou vice-versa. Em alguns filtros existe um dispositivo que permite a limpeza sem retirar o aparelho de serviço, mediante a injeção de um líquido sob pressão (back-wash), que desagrega os detritos retidos no elemento filtrante e faz com que saiam pelo dreno do filtro.

Os fabricantes de filtros costumam fornecer os valores das perdas de carga, para diversas vazões e condições de limpeza do elemento filtrante. Quando for necessário controlar com mais cuidado a estado do filtro para fixar a ocasião necessária da limpeza periódica, instala-se um manômetro antes do filtro e outro depois, determinando-se assim a perda de carga através do aparelho.

Os filtros pequenos (até 2") costumam ter a carcaça de ferro fundido ou de bronze e bocais rosqueados; os filtros grandes (fabricados até 36”) são de ferro fundido ou de aço fundido, com bocais flangeados.

Da mesma forma que os separadores, os filtros muito grandes, muito complexos, ou que constituam parte essencial do processamento de um fluido, são considerados como equipamentos de processo, e não como acessórios da tubulação.

5 EMPREGO DAS TUBULAÇÕES INDUSTRIAIS

5.1 CLASSIFICAÇÃO DAS TUBULAÇÕES INDUSTRIAIS QUANTO AO EMPREGO

Existe uma imensa variedade de casos de emprego de tubulações na industria. Sem pretender dar uma classificação que abranja todos os casos podemos classificar as tubulações industriais nas seguintes classes principais de emprego:

Chamam-se tubulações de processo as tubulações do fluido ou dos fluidos que constituem a finalidade básica da indústria, nas indústrias cuja atividade principal e o processamento, a armazenagem ou a distribuição de fluidos. Tais são, por exemplo, as tubulações de óleos em refinarias, terminais e instalações de armazenagem ou distribuição de produtos de petróleo, tubulações de vapor em centrais termelétricas tubulações de produtos químicos em indústrias químicas etc.
As tubulações de utilidades são as tubulações de fluidos auxiliares nas industrias cuja atividade principal é o processamento, a armazenagem ou a distribuição de fluidos, e também as tubulações em geral em todas as indústrias que se dedicam a outras atividades. As tubulações de utilidades podem servir não só ao funcionamento da indústria propriamente dita (sistemas de refrigeração, aquecimento, vapor para acionamento de máquinas etc.), como também a outras finalidades normais ou eventuais, tais como: manutenção, limpeza, combate a incêndio etc. Costumam constituir tubulações de utilidades às redes de água doce, água salgada, vapor condensado e ar comprimido, nas indústrias em geral.

Tubulações de instrumentação são as tubulações para a transmissão de sinais de ar comprimido para as válvulas de controle e instrumentos automáticos, e também as pequenas tubulações de fluidos diversos para os instrumentos automáticos. As tubulações de instrumentação não são destinadas ao transporte de fluidos.

As tubulações de transmissão hidráulica, que também não se destinam ao transporte de fluidos, são as tubulações de líquidos sob pressão para os comandos e servomecanismos hidráulicos.

Deve ser observado que, em qualquer caso, os tubos que fazem parte integrante de equipamentos e máquinas (caldeiras, fornos permutadores de calor, motores etc.), não são nunca considerados como pertencentes as redes de tubulação.

As tubulações de drenagem são as redes encarregadas de coletar e conduzir ao destino conveniente os diversos efluentes fluidos de uma instalação industrial. Preferimos, nessa classificação, não incluí-las como tubulações de utilidades, por causa da característica peculiar a quase todas as tubulações de drenagem, de trabalharem sem pressão e com fluidos muito variados e freqüentemente mal definidos.

Para quaisquer classes de tubulações dentro dos limites de uma instalação industrial devemos distinguir sempre dois casos gerais:

- Tubulações no interior das áreas de trabalho ou de processamento de fluidos (tubulações em unidades de processo).
- Tubulações de interligação, isto é, as linhas externas as áreas de processo, ligando essas áreas entre si.

A distinção entre esses dois grupos gerais é importante porque em muitos casos, para um mesmo serviço, são completamente diferentes, os critérios de traçado e arranjo das tubulações, tipos de suportes, e o grau de segurança necessário.

As tubulações de transporte são os troncos empregados para o transporte de líquidos e de gases a longas distancias fora de instalações industriais. Estão incluídas nesta classe as adutoras de água, as tubulações de transporte de óleos e de gases (oleodutos e gasodutos) e os coletores de drenagem. As tubulações de distribuição são as redes ramificadas fora de instalações industriais; podem ser de distribuição propriamente dita (de água, vapor etc.) quando o fluxo se da em direção as extremidades dos ramais, e de coleta (de drenagem, esgotos etc.) quando a fluxo Se da em direção as linhas-tronco.

Não trataremos aqui especificamente das tubulações fora de instalações industriais.

5.2 CLASSIFICAÇÃO DAS TUBULAÇÕES INDUSTRIAIS QUANTO AO FLUIDO CONDUZIDO

Água doce	Água potável Água de alimentação de caldeiras
Tubulações para Água	Água Água salgada Água de incêndio Água de irrigação
Tubulações para Vapor	Vapor superaquecido Vapor saturado Vapor exausto Condensado
Tubulações para Óleos	Petróleo cru Produtos intermediários e finais do petróleo Óleos vegetais Óleos hidráulicos

Tubulações para Ar	Ar comprimido industrial Ar comprimido de instrumentação	
Tubulações para Gases	Gás de iluminação Gás natural Gases de petróleo, gases de síntese. Gases de alto-forno CO_2, oxigênio, hidrogênio etc.	
Tubulações para Esgotos	Esgoto pluvial, lama de drenagem Esgoto industrial Esgoto sanitário Gases residuais Drenagem de emergência	
Tubulações para Fluidos Diversos	Produtos alimentares	bebidas xaropes Óleos e gorduras comestíveis etc.
	Produtos petroquímicos Tintas, resinas, vernizes, solventes etc.	
	Misturas refrigerantes Pasta de papel Produtos químicos diversos	ácidos, álcalis, enxofre fundido amônia, álcool cloro, uréia, soda, sabões etc.

5.3 TUBULAÇÕES PARA ÁGUA DOCE

A água doce limpa, com reação neutra (pH entre 5 e 9), é um fluido de baixa corrosão, para o qual os seguintes materiais podem ser indicados:

1. Tubulações de baixa pressão e temperatura moderada (até 10 kg/cm² e até 60°C), não enterradas:

Tubos, até 4" de diâmetro: Aço-carbono galvanizado (ASTM A-120), ou ferro maleável galvanizado, com ligações rosqueadas; para ramais e redes de distribuição de pequeno diâmetro podem ser usados tubos de PVC, também rosqueados.

- válvulas, ate 4" de diâmetro: Bronze, com mecanismo interno também de bronze, rosqueadas.
- Tubos diâmetros de 2", ou maior; Aço-carbono (ASTM A-120 ou A-134), com sobre-espessura para corrosão de 1,2mm, ligações de solda de topo. Para diâmetros de 3", ou maior, são também muito usados os tubos de ferro fundido, com ligações de ponta e bolsa.
- Válvulas, diâmetros de 3", ou maior: Ferro fundido, com mecanismo interno de bronze, extremidades com flanges de face plana.
- Flanges: Aço-carbono forjado (ou fabricados de chapa), tipo sobreposto, face plana.
- Juntas: Borracha natural ou papelão hidráulico, conforme EB-216.

2. Tubulações de baixa pressão e temperatura moderada (ate 10kg/cm² e até 60°C), enterradas:

- Tubos, até 2" de diâmetro: PVC, com ligações rosqueadas.
- Tubos, diâmetros de 3" ou maior: Ferro fundido, com ligações de ponta e bolsa: para diâmetros de 20", ou maiores, podem ser usados os tubos de concreto armado.
- Válvulas (qualquer diâmetro) flanges e juntas: Como acima, para as tubulações não enterradas.
- Tubulações para pressões e temperaturas mais elevadas, não enterradas, dentro de instalações industriais, inclusive para alimentação de caldeiras:

- Tubos, até II/2" de diâmetro: Aço-carbono (ASTM A-53 ou API-SL), com sobre-espessura para corrosão de 1,2mm, ligações de solda de encaixe.
- Tubos, diâmetros de 2", ou maiores: Aço-carbono (ASTM A-53 ou API-SL), com sobre-espessura para corrosão de 1,2mm, ligações de solda de topo.
- Válvulas, até II/2" de diâmetro: Aço-carbono forjado (ASTM A-105), com mecanismo interno de aço inoxidável 410, extremidades para solda de encaixe.
- Válvulas, diâmetros de 2" ou maior: Aço-carbono fundido (ASTM A-216), com mecanismo interno de aço inoxidável 410, extremidades com flanges de face com ressalto.
- Flanges: Aço-carbono forjado tipo "de pescoço", face com ressalto.
- Juntas:Papelão hidráulico, conforme EB-212.

Observações:

1. As águas ácidas ou alcalinas podem ser altamente corrosivas; veja o [item 7.13, a seguir, para algumas recomendações de materiais. Em casos não muito severos ou em serviços não contínuos, podem ser empregados os mesmos materiais indicados acima sendo aconselhável adotar, para o aço carbono, maior sobre-espessura para corrosão (3 a 4 mm). As válvulas devem ter o mecanismo interno de metal Monel.

2. O condensado proveniente de vapor pode conter certa quantidade de CO2, que dá origem ao ácido carbônico, muito corrosivo; recomenda-se também adotar maior sobre-espessura para o aço-carbono (2 a 3 mm).

5.4 TUBULAÇÕES PARA ÁGUA SALGADA

As tubulações para serviço contínuo com água salgada (para fins de refrigeração, por exemplo), constituem sempre um dos graves problemas de manutenção, devido a intensa corrosão a que estão sujeitas. A corrosão e agravada com a temperatura e também para velocidades de circulação muito altas ou muito baixas (ou nulas). Além

da corrosão há ainda o problema da proliferação de algas, mariscos e outros organismos marinhos, que causam obstrução das tubulações e ataque biológico ao metal. Esse ultimo problema pode ser reduzido ou controlado pela cloração previa da água.

Podem ser recomendados os seguintes materiais:

- Tubos, diâmetros até 4": PVC ou aço galvanizado (para pressões maiores). Com o aço galvanizado pode haver séria corrosão nas emendas dos tubos. Para tubulações curtas ou de diâmetro pequeno, podem ser empregados o meta Monel ou o cupro-niquel, que têm ótima resistência à água salgada; o uso desses materiais é entretanto restrito devido ao custo elevado.
- Tubos, diâmetros de 6" ou maior: Aço-carbono, com revestimento interno de concreto, de plásticos ou de borrachas; o uso do concreto é o mais comum pelo fato de ser o mais barato. Quando são empregadas ligações de solda de topo, as ligações são sempre pontos de inicio de corrosão, a não ser que o revestimento possa ser retocado depois de feitas as sodas, o que só é possível para diâmetros de mais de 20”. Esse inconveniente pode ser contornado com o uso de ligações flangeadas, estendendo-se também o revestimento pela face dos flanges, o que é entretanto um sistema muito caro e complicado.
- válvulas, diâmetro até 2": Bronze, com mecanismo interno também de bronze, extremidades rosqueadas,
- válvulas, diâmetros de 3", ou maior: A solução mais comum é o emprego de válvulas de ferro fundido, flangeadas, com mecanismo interno de bronze. Com essas válvulas haverá, entretanto corrosão galvânica entre o ferro e o bronze e corrosão grafitica do ferro fundido, que podem inutilizar a válvula em pouco tempo. Para serviços contínuos importantes recomendam-se válvulas de ferro-níquel, com internos de bronze, apesar do custo bastante elevado.

Observações:

1. Para águas com pequena quantidade de sal (como e o caso de alguns efluentes de processo), podem ser adotados tubos de aço-carbono, com uma sobre-espessura para corrosão mínima de 4 mm.

2. Os aços inoxidáveis estão sujeitos a uma série corrosão alveolar, e com os inoxidáveis austeníticos haverá ainda ocorrência de corrosão sob-tensão, não devendo por isso esses materiais serem empregados em nenhum serviço com água salgada. O contato direto entre metais diferentes pode dar origem à corrosão galvânica, e cada caso deve ser estudado com cuidado.

5.5 TUBUIAÇÕES PARA VAPOR

O vapor é um fluido pouco corrosivo para o qual os diversos materiais podem ser empregados até a sua temperatura limite de resistência mecânica aceitável. A tabela 6 mostra Os materiais que podem ser recomendados, de acordo com a temperatura máxima do vapor; Os limites de temperatura estão fixados principalmente em função da resistência a fluência dos diversos materiais. Os tubos de aço (de qualquer tipo), são ligados com solda de encaixe para diâmetros até 11/2"- 2", e com solda de topo para diâmetros maiores. As válvulas de aço são de construção forjada, com extremidades para solda de encaixe, para diâmetros ate 2" e fundidas, com extremidades flangeadas ou para solda de topo, em diâmetros maiores.

Para pressões muito altas de vapor (acima de 40 kg/cm², por exemplo), convém que sejam adotados limites de temperatura mais baixos do que os mostrados na tabela, devido a grande solicitação mecânica no material.

De acordo com a norma ANSI . B - 31 1 as válvulas de gaveta de 8" ou mais, de classe de pressão 400#, ou acima, devem ter tubo de contorno (by-pass) integral na válvula. De acordo ainda com essa mesma norma, as válvulas de gaveta de 3", ou maiores, de classes de pressão 600#, ou acima, devem ter haste ascendente e rosca externa; esse tipo de construção é usualmente adotado para todas as válvulas

em serviço com vapor, mesmo abaixo dos limites da norma. As válvulas de bloqueio de diâmetros até 8" costumam ser válvulas de globo; para diâmetros maiores usam-se válvulas de gaveta.

Em quaisquer tubulações para vapor é muito importante a perfeita e completa drenagem do condensado formado, por meio de purgadores, como já vimos no Titulo "Purgadores de vapor, separadores diversos e filtros". Para auxiliar a drenagem é feita algumas vezes a instalação dos tubos com um pequeno caimento constante na direção do fluxo, principalmente em linhas de vapor saturado, onde é maior a formação de condensado. Alguns projetistas têm por norma colocar também eliminadores de ar nos pontos altos das tubulações.

Para todas as tubulações de vapor os flanges devem ser sempre de aço forjado (aço-carbono ou aços-liga, de acordo com o material dos tubos), tipo "de pescoço", com face de ressalto ou face para junta de anel. Os acessórios de tubulação devem ser para solda de encaixe, até 11/2", e para soda de topo, em diâmetros maiores; em qualquer caso, devem ser sempre do mesmo material dos tubos.

Todas as tubulações de vapor devem ter isolamento térmico.

Tabela 6

MATERIAIS PARA TUBULAÇÕES PARA VAPOR

Temperatura máxima do vapor (°C)	TUBOS: Diâmetro nominal (pol)	TUBOS: Material Especificações ASTM ou API	TUBOS: Tipo de ligações	TUBOS: Sobre-esp. para corrosão (mm)	VÁLVULAS: Diâmetro nominal (pol)	VÁLVULAS: Material – Carcaça	VÁLVULAS: Material – Mec. interno	VÁLVULAS: Tipo de extremidades	Juntas para flanges
120 (inclusive vapor exausto e condensado)	todos	Aço-carbono A-120 ou A-53	solda	1,2	até 2"	Bronze	Bronze	Rosca	Junta plana de papelão hidráulico conforme EB-212
120 (inclusive vapor exausto e condensado)	até 4"	Aço-carbono galvanizado	rosca	—	> 2"	Ferro fundido	Bronze	Flanges (face plana)	Junta plana de papelão hidráulico conforme EB-212
200	todos	Aço-carbono A-53 ou API-5L	solda	1,2	todos	Aço-carbono	Bronze	até 2" solda de encaixe; > 2": Flanges (face com ressalto)	Junta plana de papelão hidráulico conforme EB-212
200	até 2"	Latão, cobre, alumínio	rosca ou solda	—	até 2"	Bronze	Bronze	rosca	Junta plana de papelão hidráulico conforme EB-212
380	todos	Aço-carbono A-53 API-5L ou A-672 Gr A-55	solda	1,2	todos	Aço-carbono	Aço-inoxidável tipo 410	até 2": solda de encaixe; > 2": Flanges (face com ressalto)	Junta semimetálica em espiral, de aço inoxidável, com recheio de amianto
420	todos	Aço-carbono acalmado (Si)-A-106 ou A-672 Gr B-60,70 ou Gr C-60,70	solda	1,2	todos	Aço-liga 1/2 Mo	Aço-inoxidável tipo 410 (sedes de "Stellite")	até 2": solda de encaixe; > 2": Flanges (face com ressalto)	Junta semimetálica em espiral, de aço inoxidável, com recheio de amianto
450	todos	Aço-liga 1/2 Mo A-335 Gr. P1 ou A-672 Gr CM-65,70	solda	1,2	todos	Aço-liga 1/2 Mo	Aço-inoxidável tipo 410 (sedes de "Stellite")	até 2" solda de encaixe; > 2": Flanges (face para junta de anel) ou solda de topo	Junta de anel metálico de aço inoxidável (Flanges de classe 600#, ou acima)
470	todos	Aço-liga 1 1/4 Cr-1/2 Mo A-335 Gr-P11 ou A-691 Gr 1¼ Cr	solda	1,2	todos	Aço-liga 1 1/4 Cr-1/2 Mo	Aço-inoxidável tipo 410 (sedes de "Stellite")	até 2" solda de encaixe; > 2": Flanges (face para junta de anel) ou solda de topo	Junta de anel metálico de aço inoxidável (Flanges de classe 600#, ou acima)
480	todos	Aço-liga 1 1/4 Cr-1/2 Mo A-335 Gr-P11 ou A-691 Gr 1¼ Cr	solda	1,2	todos	Aço-liga 1 1/4 Cr-1/2 Mo	Aço-inoxidável tipo 440 (sedes de "Stellite")	até 2" solda de encaixe; > 2": Flanges (face para junta de anel) ou solda de topo	Junta de anel metálico de aço inoxidável (Flanges de classe 600#, ou acima)
550	todos	Aço-inoxidável tipo 304	solda	1,2	todos	Aço-inoxidável tipo 304	Aço-inoxidável tipo 440 (sedes de "Stellite")	solda de topo	Junta de anel metálico de aço inoxidável (Flanges de classe 600#, ou acima)

5.6 TUBULAÇÕES PARA HIDROCARBONETOS

A corrosividade dos hidrocarbonetos, e portanto a seleção de materiais para tubulações em serviços com hidrocarbonetos, depende fundamentalmente da temperatura e da presença de impurezas, principalmente de produtos sulfurosos e clorados.

Os tubos de aço (de qualquer tipo), com diâmetros até 1 1/2", têm ligações de solda de encaixe, e os de diâmetros maiores tem ligações de solda de topo. As válvulas de aço com diâmetros até 1 1/2" – 2”, são de construção forjada, com extremidades para solda de encaixe, e as de diâmetros maiores são fundidas, com extremidades flangeadas.

Todos os flanges devem ser de aço forjado (aço-carbono ou aços-liga, de acordo com o material do tubo), tipo "de pescoço", com face de ressalto ou face para junta de anel. Os acessórios de tubulação devem ser para solda de encaixe, até 1 1/2 e para solda de topo, em diâmetros maiores; em qualquer caso devem ser sempre do mesmo material dos tubos.

– Materiais para tubos (quaisquer diâmetros):

Em primeira aproximação podem ser recomendados os seguintes limites de temperatura e sobre-espessuras para corrosão, para os materiais abaixo indicados:

Tabela 7

Material	Limites de temperatura e sobre-espessuras para corrosão		
	Hidrocarbonetos com baixo enxofre (até 1%)	Hidrocarbonetos com enxofre normal (1% a 3%)	Hidrocarbonetos com alto enxofre (mais de 3%)
Aço-carbono	400°C - 1,2 mm	350°C - 1,2 mm	300°C - 3 a 6 mm
Aço-liga	540°C - 1,2 mm	500°C - 1,2 mm	450°C - 3 a 6 mm

Para temperaturas mais elevadas recomenda-se, sucessivamente, o uso de tubos dos aços-liga 7 Cr -1/2 Mo,9 Cr - 1 Mo, e do aço inoxidável tipo 405.

– Materiais para válvulas (quaisquer diâmetros):

Temperaturas até 280°C: Carcaça de aço-carbono, mecanismo interno de aço inoxidável tipo 410.

Temperaturas até 280°C: Carcaça de aço-liga 5 Cr – 1/2 Mo, mecanismo interno de aço inoxidável tipo 410; para alto enxofre o mecanismo interno deve ser de aço inoxidável tipos 430 ou 304.

- Materiais para as juntas dos flanges:

Flanges de classes de pressão 150# e 300#, para temperaturas até 250°: junta plana de papelão hidráulico, conforme EB-212.

Para temperaturas mais elevadas recomenda-se sucessivamente, o uso de tubos dos aços-liga Cr – 1/2 Mo, 9 Cr - 1 Mo, e do aço inoxidável tipo 405.

Materiais para válvulas (quaisquer diâmetros):

Temperaturas até 280°C: Carcaça de aço-carbono, mecanismo interno de aço inoxidável tipo 410.

Temperaturas até 280°C: Carcaça de aço-liga 5 Cr - 1/2 Mo, mecanismo interno de aço inoxidável tipo 410; para alto enxofre o mecanismo interno deve ser de aço inoxidável tipos 430 ou 304.

Materiais para as juntas dos flanges:

Flanges de classes de pressão 105# e 300#, para temperatura ate 250°C: junta plana de papelão hidráulico, conforme EB-212

Flanges de classes 150# e 300#, para temperaturas mais altas, e flanges de classes 400# e 600#C Junta metálica em espiral, de aço inoxidável, com recheio de amianto.

Flanges de classes 900#, ou acima: Junta de anel metálico de aço inoxidável.

Observações:

1. As indicações acima, referentes aos hidrocarbonetos com alto enxofre, são apenas aproximadas.

2. Os hidrocarbonetos com presença de cloretos, em temperaturas abaixo do ponto de orvalho, são altamente corrosivos devido à possibilidade de formação de HCI diluído Recomenda-se por isso que seja adotado, para o aço-carbono, maior sobre-espessura para corrosão, 3 a 4 mm, por exemplo. As válvulas devem ter o mecanismo interno de metal Monel

3. Como todos os hidrocarbonetos são inflamáveis ou combustíveis, na maioria dessas tubulações existe risco de incêndio, às vezes em elevado grau. Por essa razão, não se podem admitir peças de materiais de baixo ponto de fusão (metais não-ferrosos, plásticos etc.), exceto em pequenas tubulações auxiliares e em algumas tubulações enterradas.

4. As tubulações para óleos viscosos têm, em geral, aquecimento e isolamento térmico, e as tubulações para óleos quentes devem ter sempre isolamento térmico.

5.7 TUBULAÇÕES PARA AR COMPRIMIDO

O ar comprimido é também um fluido de baixa corrosão, para o qual os seguintes materiais podem ser recomendados:

1. Tubulações de baixa pressão (até 7 kg/cm²):

- Tubos, até 4" de diâmetro: Aço-carbono galvanizado (ASTM A120), com ligações rosqueadas.
- Válvulas, até 4" de diâmetro: Bronze, com mecanismo interno de bronze, extremidades rosqueadas.
- Tubos, diâmetros de 2", ou maior: Aço-carbono (ASTM A-120 ou A-134), com sobre-espessura para corrosão de 1,2mm, com ligações de solda de topo.
- válvulas, diâmetros de 3", ou maior: Ferro fundido, com mecanismo interno de bronze, extremidades com flanges de face plana.

2. Tubulações de alta pressão (mais de 7 kg/cm²):

- Tubos; Aço-carbono (ASTM A-53 ou API-5L), com sobre-espessura para corrosão de 1,2 mm, com ligações para soda de encaixe em diâmetros até 11/2"-2", e solda de topo em diâmetros maiores.

- válvulas: Aço-carbono forjado, com extremidades para solda de encaixe, para diâmetros até 11/2"-2", e aço-carbono fundido, com extremidades com flanges de face com ressalto, para diâmetros maiores; em todos os casos o mecanismo interno será de aço inoxidável tipo 410.

Para qualquer caso, todos os flanges devem ser de aço-carbono forjado, com face de ressalto. Para temperaturas até 60°C, ou pressões até 10 kg/cm2, as juntas poderão ser de borracha natural; para temperaturas ou pressões mais elevadas deverão ser de papelão hidráulico, conforme EB-2 16.

Em todas as tubulações de ar comprimido existe o problema da drenagem da água proveniente da umidade que se condensa pelo resfriamento do ar, ou que se forma quando o fluxo no sistema é interrompido. Por essa razão devem ser instalados separadores de água em todos os pontos baixos, antes das válvulas de bloqueio C nas extremidades de linhas. Se possível, a água condensada deve correr por gravidade para os separadores.

Quando se exige que o ar seja limpo, com a finalidade principalmente da preservação dos equipamentos onde o mesmo será' utilizado, devem também ser instalados filtros para reter poeiras, umidade e óleo carreado. A presença de óleos e graxas em linhas de ar comprimido é perigosa porque pode dar origem a explosões causadas pelo aquecimento conseqüente da compressão do ar.

As tubulações de ar comprimido para a transmissão de sinais para instrumentos automáticos e válvulas de controle, costumam ser construídas com tubos de cobre, de latão ou de materiais plásticos. Os diâmetros dos tubos são sempre pequenos (ate 3/4") e as pressões muito baixas. Nos tubos de cobre e de latão usam-se ligações de compressão.

5.8 TUBULAÇÕES PARA TEMPERATURAS ELEVADAS

Na tabela 8 estão mostrados Os limites de temperatura aceitáveis para diversos materiais, que poderão orientar a seleção de materiais para tubulações em serviços não corrosivos em temperaturas elevadas.

Tabela 8

Material	Temperatura limite de remitência mecânica	Temperatura limite de início de oxidação interna
Aço-carbono aclamado (Si) A-106 ou A-672 Gr B-60, 70	450°C	530°C
Aço liga ½ Mo	510°C	530°C
Aço liga ¼ Cr- ½ Mo	550°C	550°C
Aços inoxidáveis tipos 304 e 316	600°C	900°C
Aços inoxidáveis tipos 304H e 316H	650°C	900°C
Inconel, Incoloy	850°C	1200°C

As temperaturas limites de resistência mecânica são os valores, acima dos quais, a resistência do material (resistência a fluenda) esta muito baixa, não sendo por isso econômico o emprego do material. Esses limites só podem ser ultrapassados para tubulações sem pressão.

As temperaturas limites de inicio de oxidação superficial intensa não podem ser ultrapassadas em serviço contínuo em nenhum caso, tolerando-se, às vezes, a ultrapassagem apenas em picos de curta duração.

Chama-se atenção que para a maioria dos serviços corrosivos os limites de temperatura deverão ser inferiores aos acima indicados; em atmosfera oxidantes ou corrosivas também a oxidação superficial se inicia em temperaturas mais baixas do que as mostradas na tabela.

Quando se empregam aços inoxidáveis austeniticos para temperaturas de regime superiores a 550°C, recomenda-se que sejam usados os aços tipo "H" (304 H, 316 H etc.).

Para serviços de alta pressão ou de risco elevado, recomenda-se que sejam adotadas temperaturas limites inferiores as acima indicadas, como é o caso das tubulações para vapor, já vistas no Sub-título “Tubulações para vapor".

5.9 TUBULAÇÕES PARA BAIXAS TEMPERATURAS

Em temperaturas muito baixas alguns metais (como é o caso do aço-carbono) perdem a ductilidade, ficando sujeitos a fraturas frágeis repentinas. Podemos estabelecer os seguintes limites de temperaturas baixas para o uso dos diversos materiais:

Aço-carbono não acalmado (ASTM A-53, API-SL):	zero °C
Aço-carbono acalmado (ASTM A-106):	- 20°C
Aço-carbono acalmado, de grão fino (ASTM A-333 Gr. 6):	- 45°C
Aço-liga 2 1/2 Ni:	- 60°C
Aço-liga 3 1/2 Ni:	100°C
Cobre, latões bronze:	180°C
Aço-liga 9 Ni, aços inoxidáveis tipos 316, 317 e 321:	195°C
Aços inoxidáveis tipos 304, 310 e 347:	255°C
Alumínio, aço inoxidável tipo 304L	sem limite

Para os aços-carbono e aços-liga Ni exigem-se testes de impacto, para a verificação da ductilidade, para todos os materiais submetidos a baixa temperatura, inclusive os materiais dos parafusos dos flanges; no caso dos aços inoxidáveis austeníticos esses testes são necessário apenas para os materiais das peças fundidas.

Chama-se atenção que por ser o alumínio um metal de baixo ponto de fusão, não pode ser empregado em tubulações ou em locais onde se exija segurança contra fogo.

5.10 TUBULAÇÕES PARA GASES

Os gases quando secos, isto é, mantidos em temperatura acima do seu ponto de orvalho, são em geral pouco corrosivos, podendo os materiais serem empregados até os seus limites de temperatura referidos no Item 7.9. Por isso, muitas tubulações para, gases em refinarias, usinas siderúrgicas, indústrias petroquímicas etc., são

construídas de aço-carbono, aços-liga ou aços inoxidáveis, dependendo da temperatura de serviço. Para os tubos de diâmetro superior a 24" - 30", para temperaturas muito elevadas (450°C ou mais), podem ser adotados economicamente os tubos de aço-carbono com um revestimento isolante refratário interno, de modo que a temperatura no metal fique abaixo do limite aceitável para o aço-carbono.

Para os gases em temperaturas abaixo do ponto de orvalho, poderá haver severa corrosão devido a formação de ácidos diluídos, sendo muitas vezes necessários tubos de materiais mais resistentes a corrosão, ou a colocação de revestimentos anticorrosivos de plásticos, borrachas, concretos etc. Deve-se prestar atenção para o caso das tubulações que normalmente trabalham quentes, mas que quando fora de operação, ou em condições anormais, possam ficar em temperatura inferior ao ponto de orvalho. Para esses casos recomenda-se uma completa drenagem ou o preenchimento com um gás inerte.

Para a distribuição de gases de baixa pressão as tubulações podem ser enterradas, podendo-se empregar tubos de ferro fundido de ponta e bolsa (especiais para gases) ou tubos de aço-carbono com costura. Nessas tubulações devem ser adotadas as precauções para a coleta de líquidos condensados ou carreados, tais como caimento constante e colocação de separadores de líquidos nos pontos baixos.

5.11 TUBULAÇÕES PARA HIDROGÊNIO

A presença do hidrogênio tanto como gás puro como em mistura com outros gases ou líquidos causa a fragilidade dos aços em temperaturas elevadas e o empolamento (formação de bolhas) do aço-carbono em temperaturas moderadas, devido á penetração do hidrogênio atômico no metal.

A seleção de materiais para temperaturas elevadas é feita pela consulta as denominadas "Curvas de Nelson", publicadas na norma API-RP 941, do "American Petrojeum Institute", que mostram es campos de aplicação do aço-carbono e dos diversos aços-liga Cr-Mo e aços inoxidáveis, em função da temperatura e da pressão parcial do hidrogênio. O uso do aço-carbono é permitido até a sua temperatura limite de uso prático, desde que a pressão parcial do hidrogênio (ou pressão parcial, no caso de misturas contendo hidrogênio) seja inferior a 7 kg/cm²; para pressões maiores o emprego do aço-carbono só é possível até 250°C.

Em qualquer condição, inclusive para temperatura ambiente, os aços-carbono devem ser sempre totalmente acalmados (especificações ASTM A-106 ou A-672 Gr B-60, 70 ou Gr C-60,70).

Em todas as tubulações que trabalham com hidrogênio em pressão (ou pressão parcial) superior a 4 kg/cm², todas as ligações devem ser com solda de topo, devendo-se evitar as roscas e soldas de encaixe. Por esse motivo, não se devem usar tubos com diâmetro inferior a 1". O emprego de flanges deve ser apenas onde for absolutamente indispensável, não devendo serem usados flanges rosqueados, sobrepostos ou para solda de encaixe. Os flanges até a classe 400#, inclusive, devem ter face com ressalto com acabamento liso (rugosidade média máxima de 0,003 mm), para uso com juntas metálicas em espiral, de aço inoxidável, com recheio de amianto. Os flanges de classe 600#, ou acima, devem ter face para junta de anel, empregando-se juntas de anel ovalado, de aço inoxidável. Não podem ser permitidas quaisquer ligações rosqueadas ou para solda de encaixe.

Todas as válvulas abrindo para o exterior (drenos, respiros etc.), devem ser flangeadas, e fechadas com um flange cego.

5.12 TUBULAÇÕES PARA ÁCIDOS E PARA ÁLCALIS

Veremos a seguir, como primeira indicação, alguns materiais que podem ser recomendados para serviços com três dos ácidos minerais fortes mais importantes: ácidos sulfúrico, clorídrico e nítrico.

Todas as recomendações de material estão em função da temperatura ou da concentração dos ácidos. Para os materiais que só são recomendados em concentrações elevadas, deve ser tomado muito cuidado com a diluição acidental do ácido, que pode ocorrer em conseqüência da absorção da umidade do ar, e que causará violenta corrosão na tubulação.

- Acido sulfúrico:

Aço-carbono: Temperatura ambiente, para concentrações acima de 85% e velocidade até 1 m/s.

Chumbo, aço inoxidável especial "Carpenter 20": Concentrações até 90% em temperaturas ate 100°C.

Metal Monel: Concentrações até 60%.

Materiais plásticos: Concentrações até 70%, para temperaturas até 50°C.

"Hastelloy C", vidro, porcelana: Qualquer condição de temperatura ou de concentração.

- Ácido clorídrico:

Bronze cobre, metal Monel: Temperatura ambiente, para concentrações até 10%.

Materiais plásticos, borrachas: Temperatura ambiente para concentrações até 50%.

Cupro-níquel: Concentrações até 40% para temperatura ambiente, e até 10% para temperaturas ate 100°C.

"Hastelloy B", "Chlorimet 2": Concentrações até 50%, em qualquer temperatura.

Vidro, porcelana: Qualquer condição de temperatura ou de concentração.

- Ácido nítrico:

Aço inoxidável tipo 304L: Concentrações até 95%. Alumínio: Concentrações acima de 95%, em temperatura ambiente. Materiais plásticos: Concentrações até 40%, em temperaturas até 50°C.
Vidro, porcelana: Qualquer condição de temperatura ou de concentração.

Para as tubulações em serviços com álcalis (soda caustica, soluções de soda etc.), a seleção de materiais depende essencialmente da temperatura, podendo-se distinguir três casos:

- Temperaturas até 40°C: Permite-se o emprego de aço-carbono, sem limitações.
- Temperaturas entre 40°C e 70°C: Permite-se ainda o uso do aço-carbono, devendo entretanto ser feito um completo tratamento térmico de alívio de tensões em todas as soldas, curvas de tubo dobrado, ou qualquer outra região submetida a algum trabalho de conformação a frio. As válvulas devem ser de metal Monel.
- Temperaturas acima de 70°C: Recomendam-se tubos e válvulas de cobre, bronze ou metal Monel Podem 5cr empregados ainda, para quaisquer concentrações, a resina epoxi (ate 80°C), ebonite (ate 120°C), e o "Teflon" (até 250°C).

Em todos os casos onde forem usados tubos de aços inoxidáveis ou de metais não ferrosos, podem ser empregados flanges tipo solto", de aço-carbono, com virolas do mesmo material do tubo.

Para os serviços, em que sejam recomendados materiais plásticos, para os diâmetros superiores a 4" costumam-se empregar tubos de aço com revestimento plástico interno. As ligações devem ser flangeadas, com o plástico cobrindo também a face dos flanges, para garantir a continuidade do revestimento. Para qualquer diâmetro de tubo, as válvulas, tanto de bloqueio como de regulagem, são usualmente do tipo diafragma.

Em quaisquer serviços com ácidos ou com álcalis, deve ser tomado muito cuidado com a possibilidade de ação galvânica entre metais diferentes em contato, que poderá resultar em corrosão muito intensa devido ao meio fortemente eletrolítico.

5.13 TUBULAÇÕES PARA ESGOTOS E PARA DRENAGEM

Quase todas as tubulações de esgotos são enterradas, tanto para esgoto pluvial como para esgoto sanitário e esgoto industrial; fazem exceção apenas pequenos trechos em subsolos e subterrâneos de edifícios. A maior parte dessas tubulações funciona sem pressão, como canais, como superfície livre de líquido; por essa razão devem ter um caimento constante, obedecido o mais rigorosamente possível, como veremos no Subtítulo "Tubulações de Esgotos".

A corrente líquida em todas as tubulações de esgoto é sempre agressiva. Nas tubulações de esgoto industrial, além dos líquidos serem corrosivas são ainda freqüentemente de natureza variável, quanta a composição química, concentração, temperatura, condições de corrosão etc.

Para as tubulações de esgoto pluvial adaptam-se tubos de barro vidrado, cimento-amianto, ferro fundido ou concreto, todos com ligações de ponta e bolsa. A escolha entre esses materiais dependerá do diâmetro e da resistência mecânica necessária em função das sobrecargas externas. As linhas de esgoto sanitário são quase todas construídas de tubos de barro vidrado; para os ramais de diâmetros pequenos podem-se usar tubos de chumbo ou de PVC, e para os grandes troncos são empregados os tubos de concreto armado ou mais raramente de ferro fundido.

A escolha dos materiais para tubulações de esgoto industrial depende da natureza e do grau de corrosividade da corrente líquida. Para a maioria dos casos, satisfazem os tubos de chumbo, PVC e barro vidrado para os diâmetros médios, e concreto armado para os diâmetros muito grandes. Em casos especiais pode ser necessária o

emprego de tubos de ferro fundido com revestimentos internos de plásticos, borrachas etc.

Os esgotos industriais quando pressurizados devem ser construídos de tubos de aço (se necessário com revestimentos internos contra a corrosão), até a primeira caixa-de-visita. Quando os líquidos de esgoto forem ácidos ou acidulados não se devem usar tubos de concreto ou de cimento-amianto, nem argamassa de cimento como material de vedação.

Em quaisquer casos de tubulações de esgotos, com ligações de ponta e bolsa, deve ser verificado se o material dos tubos e também o material de vedação das juntas resistem a ação corrosiva da corrente líquida.

Nas indústrias de processamento de fluidos existem quase sempre redes especiais de esgotos para fluidos residuais e também para a drenagem de emergência da instalação. Nessas tubulações os fluidos circulantes são os próprios fluidos que estão sendo processados. Por essa razão os materiais empregados são os mesmos das tubulações de processo, ou sejam, tubos de aço-carbono soldados a topo, na malaria dos casos. Essas tubulações são geralmente acima do solo e trabalham com temperaturas e pressões baixas. A drenagem de emergência pode ser feita succionando-se com bombas os fluidos contidos no sistema (pumpout), ou deixando-se os fluidos serem expulsos pela própria pressão do sistema (blow down).

5.14 FACILIDADES PARA MONTAGEM, OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO

1. Tubos de ligações aos equipamentos - Os tubos de ligação a qualquer equipamento que possa necessitar ser desmontado ou removido periodicamente (bombas, compressores, turbinas, filtros etc.) devem ser dispostos de forma a deixar livres os espaços necessários para a desmontagem e remoção, e sempre também o espaço acima do equipamento para permitir a manobra dos aparelhos

de elevação de pesos. Quando a tubulação é elevada (como geralmente acontece nas áreas de processo), os ramais de ligação aos equipamentos descem verticalmente direto sobre os bocais, como já nos referimos no item 9.5, deixando livre toda área em volta do equipamento. Quando as tubulações estão a pequena altura, os ramais de ligação são tubos horizontais dispostos de tal forma a deixar pelo menos dois lados do equipamento inteiramente livres, como mostra o exemplo da Fig. 11.2.

Os tubos de ligação aos equipamentos devem ter também, sempre que possível uma peça flangeada, junta ao bocal do equipamento, que possa ser removida para facilitar a remoção do próprio equipamento. Essa peça flangeada pode ser uma válvula, uma redução, ou um pequeno trecho de tubo com um par de flanges (Fig 39).

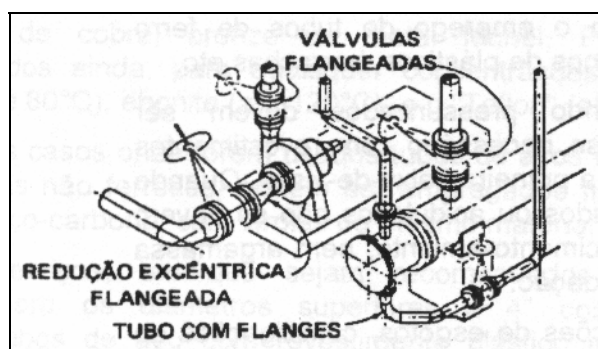



Fig. 39 - Peças flangeadas removíveis para ligação com equipamentos.

Para todas as bombas, compressores, turbinas, máquinas em geral e demais equipamentos em que haja necessidade de presença contínua ou eventual do operador, deve ser deixado completamente livre o espaço necessário para o acesso e trabalho do operador.

Todas as recomendações acima aplicam-se não só as tubulações principais que devam ser ligadas ás máquinas como também as tubulações auxiliares e secundárias, tais coma as tubulações de resfriamento, lubrificação de gaxetas e mancais, aquecimento etc.

Como regra geral pode-se dizer que sempre deve ser previsto um meio fácil de desmontagem e remoção de qualquer máquina, sem ser preciso desmontar a própria linha ou as linhas próximas.

2. Operação de válvulas, equipamentos e instrumentos

- Todas as válvulas, instrumentos e equipamentos que tenham operação e/ou manutenção, devem ter acesso fácil do solo, ou de algum piso, estrutura, plataforma, escada etc.

As válvulas de operação manual que estejam com a linha de centro a mais de 2,10m de altura do respectivo piso de operação, devem ter volantes com corrente, haste de extensão para o volante, ou alavanca de extensão. Como veremos no Sub-título “Fixação de cotas de elevação de tubulação e de equipamentos” (Fig 41), a altura ideal para a volante de uma válvula é 1,20m, acima do piso de operação. A corrente das válvulas deve ficar 1 m acima do piso de operação. Note-se que as válvulas com corrente são sempre de operação difícil, e por isso esse recurso só deve ser usado quando não houver outra solução. Para válvulas menores de 2” não é possível o uso de correntes; o único recurso prático são as hastes de extensão para manobra de um piso superior. Não se devem usar correntes para válvulas que sejam freqüentemente operadas.

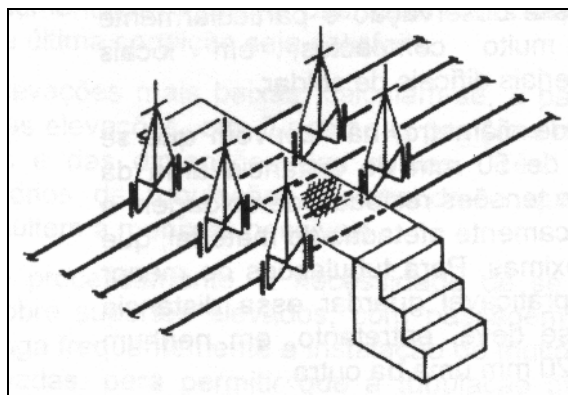



Fig. 40 - Plataforma de operação para válvulas

No caso de um grupo de tubos paralelos a pequena altura, é muito prático colocar todas as válvulas próximas entre si, de forma que possam ser operadas de uma plataforma sobre os tubos, que serve também como meio de travessia, como mostra a Fig.40. Essa disposição é muita usual em casas de bombas (Fig 11.2) e em tubulações ligadas a um tanque. Quando for necessário manter a distância mínima entre tubos paralelos, as válvulas em tubos vizinhos devem estar alternadamente de um lado e do outro da plataforma, como na Fig. 40.

Não é, em geral, necessário prever acesso para pequenas válvulas, raramente operadas, tais como drenos e respiros em tubulações elevadas.

3. Facilidades para desmontagem - Além das recomendações que já vimos acima, devem sempre ser previstos espaço e possibilidade de desmontagem dos equipamentos, válvulas, instrumentos e outras peças que periodicamente necessitem de manutenção (lubrificação, reengaxetamento etc.) ou remoção.

Salvo em casos excepcionais, não é geralmente necessário prever meios de desmontagem das tubulações em si, porque tais desmontagens raramente ocorrem na prática. Se necessário, entretanto, que sejam sempre deixados espaço suficiente e meios de acesso para permitir a colocação e a remoção dos parafusos e juntas em todas as ligações flangeadas. Recomenda-se para isso deixar uma folga livre mínima de 70 mm entre um flange e qualquer obstáculo (coluna, estrutura, piso etc.); essa observação é importante principalmente nos locais congestionados.

O traçado das tubulações deve ser feito também de forma que os flanges não fiquem suportando o peso dos tubos, para que seja possível trocar uma junta sem ser preciso desmontar tudo.

4. Posição de saídas e de roscas - Em qualquer projeto deve-se estudar a localização de cada solda para verificar se ha acesso, e se há espaço suficiente para permitir a execução da solda sem dificuldade, principalmente no caso de

soldas verticais ou sobrecabeça. Essa observação é particularmente importante em arranjos muito compactos, em locais congestionados, ou com materiais difíceis de soldar.

Em tubulações de 3” ou mais de diâmetro, não convém que se tenham duas soldas a menos de 50 mm de distância uma da outra, para diminuir os efeitos de tensões residuais de soldagem e de superposição de zonas termicamente afetadas do material, que resultariam de saídas muito próximas. Para tubulações de menor diâmetro é freqüentemente impraticável guardar essa distância mínima entre as soldas; não se deve, entretanto, em nenhum caso, ter soldas com menos de 20 mm uma da outra.

Em tubulações rosqueadas deve-se também estudar, para cada rosca a possibilidade física de atarraxar e desatarraxar, levando-se em conta o espaço livre que deve haver para a movimentação da chave.

5.15 FIXAÇÃO DE COTAS DE ELEVAÇÃO DE TUBULAÇÕES E DE EQUIPAMENTOS

A fixação das cotas de elevação das tubulações e dos equipamentos é uma das etapas mais importantes do detalhamento de um projeto de tubulações. Como regra geral, com a finalidade de reduzir o custo global das instalações, todas as cotas de elevação devem ser as menores possíveis, compatíveis com as necessidades de operação e com as folgas e alturas livres que devem ser deixadas, como veremos a seguir.

Para a fixação dessas cotas, o primeiro passo é estudar cuidadosamente quais os elementos do sistema (equipamentos e tubulações) que devam ficar em posição superior ao outro, ou vice-versa. Serão verificados, por exemplo, os vasos entre os quais houver fluxo por gravidade, as bombas que devam ter sucção afogada, as tubulações que necessitam de declividade contínua etc. Verificam-se, também, quais

os equipamentos ligados a rede de tubulações, que podem ser colocados sobre bases com altura mínima, sem prejuízo do funcionamento. As tubulações de saída de vasos de acumulação de condensados por exemplo, trabalham em geral com líquidos em temperatura próxima a ebulição, sendo necessário por isso uma boa diferença de cotas para garantir o NPSH da bomba. Como já vimos no item 8.3, sempre que possível, o maior número de equipamentos deve ser assentado sobre essas bases com altura mínima.

Passa-se em seguida a fixação das cotas de elevação, começando-se sempre de baixo para cima. As elevações mais baixas são estabelecidas em função da posição dos bocais dos equipamentos colocados sobre bases com altura mínima. Nunca se deve ter nenhum elemento da tubulação a menos de 0,15 m do solo, inclusive os drenos e purgadores nos pontos baixos. Caso necessário, aumenta-se a altura das bases dos equipamentos para que essa última condição seja satisfeita.
Fixadas as elevações mais baixas, calculam-se, a partir dessas, todas as outras elevações, em função das posições relativas dos equipamentos e das dimensões das curvas, "Tês", válvulas e outros acessórios da tubulação, procurando-se que todas as elevações resultem a menores possíveis.

Em áreas de processamento, a necessidade de se colocar as tubulações sobre suportes elevados, com passagem de tráfego por baixo, obriga freqüentemente a instalação de muitos vasos em posições elevadas, para permitir que a tubulação que sai pelo fundo do vaso possa correr sobre os suportes elevados. A Fig. 41 mostra alguns valores recomendados de folgas e de elevações em áreas de processamento, tornando-se por base o nível do piso acabado, como sendo elevação 100,00. Pela figura vê-se como é possível determinar-se a elevação dos tubos colocados sobre os suportes de pórtico, a partir da altura livre que deve ser deixada sob os pórticos. Da mesma forma, vê-se como é possível chegar-se a elevação dos tubos de um vaso, a partir da elevação dos tubos situados sobre os suportes de pórtico.

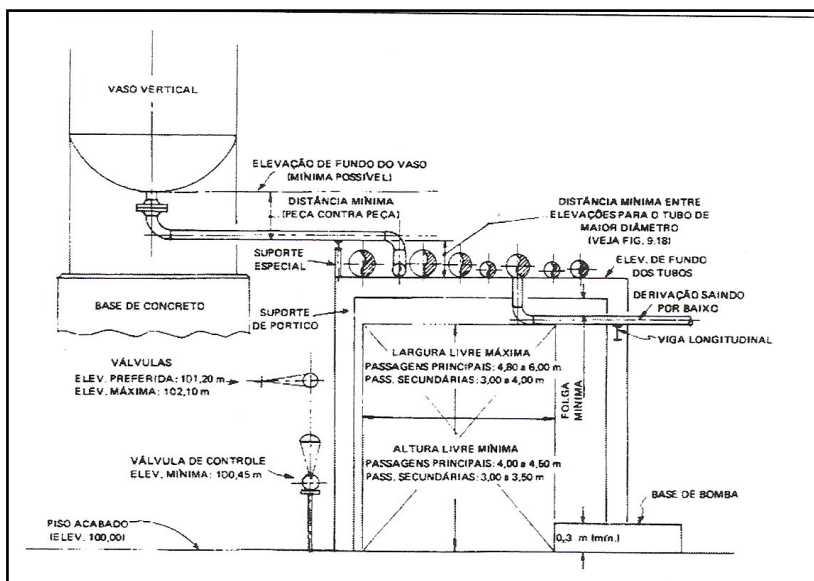



Fig 41 - Níveis recomendados em áreas de processo.

A distância vertical entre tubulações em direções diferentes, para permitir o cruzamento de umas sobre as outras, ou para possibilitar derivações, deve ser a mínima estritamente necessária. Essa distância mínima é a que resulta da colocação de dois joelhos de 90°, um em seguida do outro, ambos do maior diâmetro que houver no grupo paralelo de tubos, como mostra a Fig. 42. Essa distancia deverá ser devidamente aumentada, quando existirem tubos com isolamento térmico externo, ou quando houver previsão da instalação futura de um tubo paralelo de maior diâmetro.

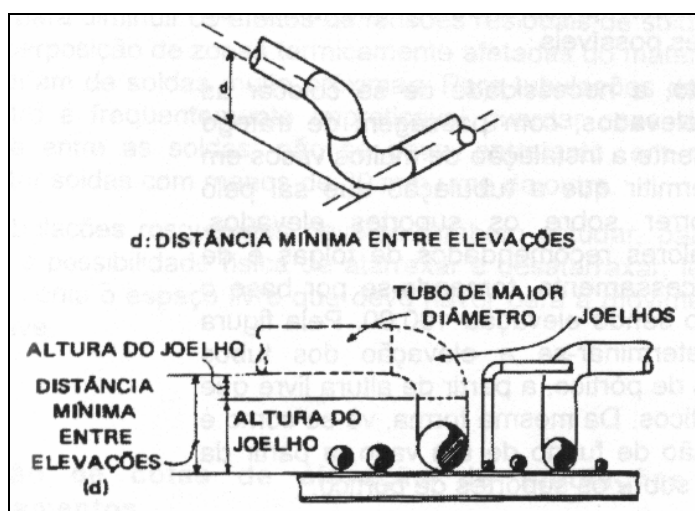



Fig. 42 - Distância mínima entre elevações para cruzamentos.

Na Fig. 43 estão algumas folgas e elevações recomendadas para um grupo de tubos paralelos em uma trincheira de forma a permitir a construção de um pontilhão de cruzamento sobre os tubos, e também a construção de derivações passando em canaletas sob o leito da rua. Observe-se que como regra básica, a profundidade final da trincheira deve ser sempre a mínima possível.

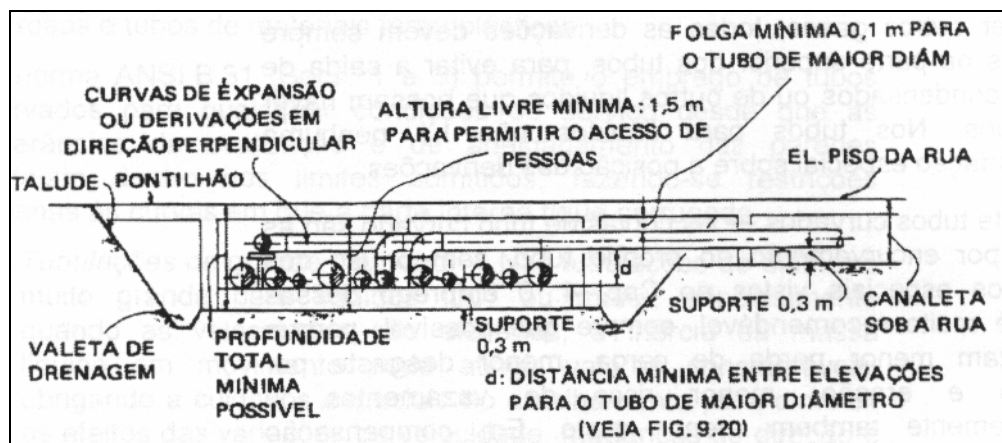



Fig. 43 - Níveis recomendados para tubulações em trincheiras.

6 DETALHES DE TUBULAÇÃO

Damos a seguir uma série de recomendações sobre detalhes de projeto que devem, em princípio, ser obedecidas no traçado de tubulações industriais.

1. Derivações em tubos para gases - Nos tubos para vapor, ar e quaisquer outros gases, todas as derivações devem sempre ser feitas na parte superior dos tubos, pare evitar a saída de líquidos condensados ou de outros líquidos que possam haver nos tubos. Nos tubos para líquidos não há nenhuma recomendação especial sobre a posição das derivações.

2. Curvas de tubos curvados - As curvas de tubo curvado são as obtidas por encurvamento do próprio tubo, sem o uso dos acessórios especiais vistos no Cap 4. O emprego dessas curvas é muito recomendável, sempre que possível, porque apresentam menor perda de carga menor desgaste por corrosão e erosão, menor

risco de vazamentos, e freqüentemente também menor custo. Em compensação ocupam um espaço bem maior e a sua qualidade nem sempre é satisfatória porque depende essencialmente dos cuidados de fabricação e inspeção.

Pelos processos convencionais de encurvamento, o raio mínimo de curvatura da linha de centro do tubo é 5 vezes o seu diâmetro. Com encurvamento por alta freqüência, esse raio mínimo podem chegar a 3 vezes o diâmetro para tubos de qualquer diâmetro, e ate 1,5 vezes, para diâmetros pequenos; como esse rajo mínimo depende do diâmetro e da espessura do tubo, para obter-se valores exatos, deverão ser consultados os catálogos de fabricantes.

Podem-se curvar tubos de aço de qualquer tipo, com qualquer diâmetro, entretanto, para diâmetros acima de 8" praticamente só é viável o encurvamento por alta freqüência, o que limita a uso desse recurso. Para os diâmetros até 2", o encurvamento pode ser feito a frio, com facilidade, em qualquer tipo de aço, devendo-se preferir os aços de baixo carbono (Grau A).

De um modo geral, o traçado dos tubos até 2" deve ser feito, sempre que possível, de forma a permitir essas curvas, que devem ser usadas de preferência. No plano horizontal quase sempre se consegue deixar espaço suficiente: no plano vertical, entretanto, freqüentemente não é possível devido à exigüidade das diferenças de cotas disponíveis. Em tubos de maior diâmetro as curvas de tubo curvado podem ser adotadas quando as condições de espaço e de equipamento para curvar permitirem.

Para as tubos de aços inoxidáveis o encurvamento a quente (tubos de mais de 2”) só pode ser feito por alta freqüência, porque os outros processos podem prejudicar o material (sintetizar o aço inoxidável, por exemplo). Para as aços-carbono, qualquer processo pode ser empregado sem inconvenientes.
Podem ainda ser curvados com facilidade tubos de metais não ferrosos e tubos de materiais termoplásticos.

A norma ANSI.B.31 (Seçs. 1 e 3) permite a emprego de tubos curvados para quaisquer condições de serviço desde que as tolerâncias de ovalização e de adelgaçamento das paredes estejam dentro dos limites admitidos, fazendo-se restrições apenas as curvas em que a parte interna fique corrugada.

3. Tubulações de grande diâmetro - Nas tubulações de diâmetro muito grande para líquidos (30" ou mais), principalmente quando as velocidades são elevadas, a inércia da massa líquida em movimento pode atingir valores consideráveis, obrigando a cuidados especiais no detalhamento para diminuir os efeitos das variações de velocidade, mudanças de direção e turbilhonamentos. Por esse motivo as bifurcações são feitas com peças em "Y", as derivações são a 45° com o sentido do fluxo, e em todos os casos procura-se manter a velocidade do líquido o mais constante possível, por meio de peças de redução nos pontos onde houver variação de vazão. A Fig. 9.22 mostra todas essas particularidades das tubulações de grande diâmetro.

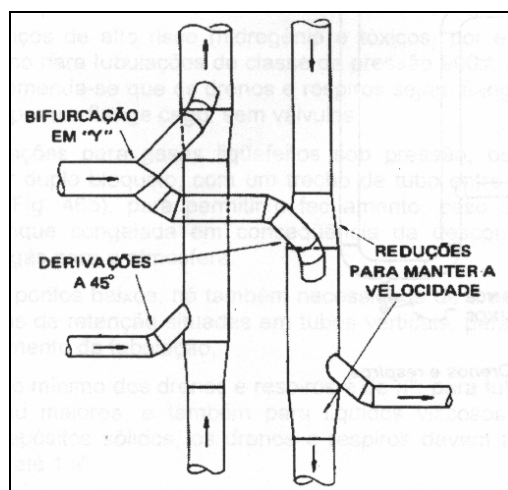



Fig. 44 - Tubulações de diâmetro muito grande para líquidos.

4. Posição das reduções - Nas tubulações horizontais as peças de redução são em geral excêntricas, niveladas por baixo, para manter a mesma elevação de fundo dos tubos, simplificando assim os suportes. Fazem exceção obrigatória as reduções nas linhas de sucção das bombas que devem ser excêntricas,

niveladas por cima, para evitar a formação de bolsas de ar; essas reduções ficam, em geral, imediatamente antes do bocal da bomba. Nos tubos verticais as reduções costumam ser concêntricas.

5. Posição das válvulas - Nunca se devem colocar válvulas com a haste virada para baixo, porque resultaria em acumulação de detritos no castelo da válvula, Em linhas de sucção de bombas, quando possível, é preferível não haver válvulas com a haste para cima, para evitar a formação de bolsas de ar no castelo da válvula; nessas linhas a melhor posição para as válvulas e com a haste horizontal, ou inclinada para cima. Deve ser observado entretanto que as válvulas com haste horizontal, além de serem geralmente de manobra mais difícil, podem obstruir as passagens de acesso e causar acidentes.

6. Drenos e respiros - Em todos os pontos baixos de qualquer tubulação deve haver sempre uma tomada com válvula para a drenagem dos tubos (drenos), como mostra a Fig. 45. Da mesma forma, em todos os pontos altos deve também haver uma tomada com válvula para admissão e purga de ar (respiros, "vents").

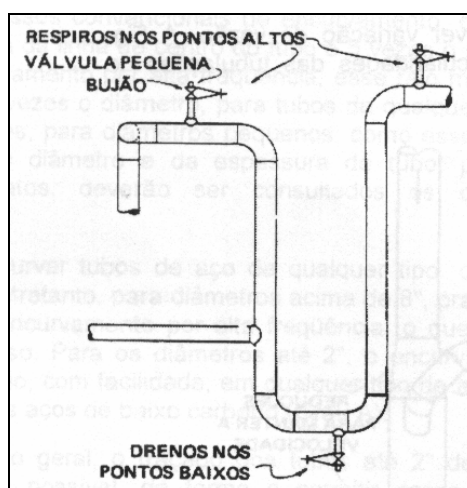



Fig. 45 - Drenos e respiros.

Denomina-se de "ponto baixo" um trecho de tubo, qualquer que seja o seu comprimento, em cota de nível inferior aos trechos adjacentes. Reciprocamente, "ponto alto" é um trecho em cota de nível superior aos adjacentes.

Nas tubulações de aço os drenos e respiros consistem, quase sempre, em uma luva (soldada diretamente ao tubo), em um niple e em uma válvula de bloqueio (fig. 46). Dependendo do sistema de ligações que se permite na tubulação, a luva e a válvula serão rosqueadas ou para solda de encaixe. A válvula poderá ser de gaveta (para líquidos em geral), de macho (para gases), ou de esfera (para serviços corrosivos). Coloca-se geralmente um bujão rosqueado fechando o extremo livre da válvula, para evitar possíveis vazamentos bem como a entrada de poeira e detritos na válvula.

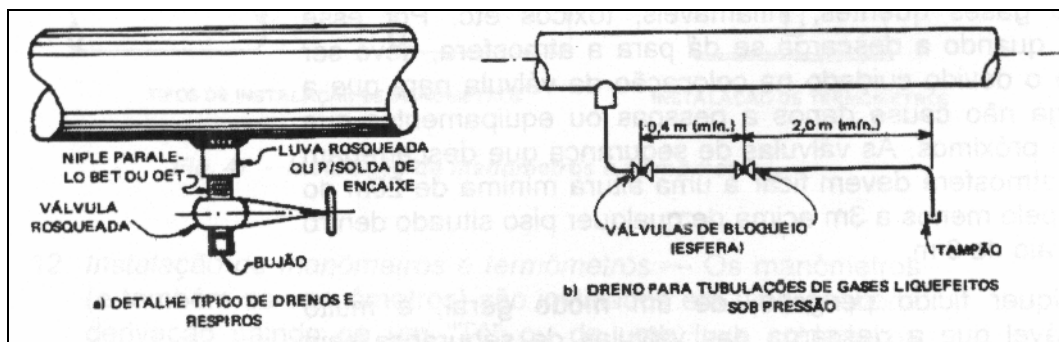



Fig. 46 - Detalhes de drenos e respiros

Para serviços de alto risco (hidrogênio e tóxicos, por exemplo), assim como para tubulações de classe de pressão 900#, ou maus altas, recomenda-se que os drenos e respiros sejam flangeados e fechados por um flange cego, sem válvulas.

Em tubulações para gases liquefeitos sob pressão, os drenos devem ter duplo bloqueio, com um trecho de tubo entre as duas válvulas (Fig. 46b), para permitir o fechamento, caso a válvula extrema fique congelada em conseqüência da descompressão súbita do gás para a atmosfera.

Além dos pontos baixos, há também necessidade de dreno acima de válvulas de retenção situadas em tubos verticais, para permitir o esvaziamento da tubulação.

O diâmetro mínimo dos drenos e respiros é de 3/4"; para tubulações de 30", ou maiores, e também para líquidos viscosos ou que deixem depósitos sólidos, os drenos e respiros devem ter maior diâmetro, até 1 1/2".

Nas tubulações onde seja necessário empregar ventosas para evitar a formação de vácuo, essas válvulas devem ser colocadas nos pontos altos, associadas aos respiros.

7. Alívio de pressão em linhas bloqueadas - Em trechos de tubulação compreendidos entre duas válvulas de bloqueio, podem-se gerar pressões internas altíssimas devido a dilatação do líquido pelo simples efeito do calor solar caso a tubulação esteja completamente cheia de líquido e com ambas as válvulas de bloqueio fechadas.

Para evitar essas pressões devem ser instaladas derivações com válvulas de alívio nos trechos de tubulações para líquidos, que sejam compreendidos entre duas válvulas de bloqueio e que possam ficar expostos ao sol. As válvulas de alívio devem ser calibradas para abrirem com uma pressão superior a máxima pressão de operação que possa ocorrer na linha.

8. válvulas de segurança e de alívio - A descarga de uma válvula de segurança e freqüentemente um perigoso e forte jato de gases quentes, inflamáveis, tóxicos etc. Por esse motivo, quando a descarga se dá para a atmosfera, deve ser tomado o devido cuidado na colocação da válvula para que a descarga não cause danos a pessoas ou equipamentos que estejam próximos. As válvulas de segurança que descarregam para a atmosfera devem ficar a uma altura mínima de 20m do solo, e pelo menos a 3m acima de qualquer piso situado dentro de um raio de 8 m.

Para qualquer fluido perigoso, de um modo geral, é muito recomendável que a descarga das válvulas de segurança seja feita para uma rede fechada, conduzindo o

fluido até local seguro. As linhas de descarga devem ter o mínimo de perdas de carga para não causarem contrapressão nas válvulas. Por essa razão devem ser as mais curtas possíveis, com o mínimo de acidentes e em geral de maior diâmetro do que o bocal de saída da válvula. Essas linhas não devem ter pontos baixos que poderiam causar acumulação de líquidos.

Para as válvulas de alívio, como a descarga é sempre um jato líquido de reduzidas proporções, a solução usual é dirigir-se essa descarga para o solo ou para a rede de drenagem.

9. Travessias de paredes e de pisos - Quando um tubo tem de atravessar uma parede ou um piso, de concreto ou de alvenaria a travessia deve ser feita por um orifício circular deixando uma boa folga em toda a volta do tubo. Para tubos quentes, sujeitos a movimentos de dilatação, essa folga deve ser aumentada de acordo; se o tubo tiver isolamento térmico a folga deve ser deixada por fora do revestimento isolante.

Em princípio não devem haver tubos embutidos nas travessias de paredes ou de pisos.

10. Tubos de pequeno diâmetro ou de materiais frágeis - Os tubos de diâmetro muito pequeno (até 2”), ou de materiais frágeis (plásticos, vidro etc.), conduzindo fluidos perigosos, devem ser colocados de tal forma que não fiquem em local exposto a acidentes, colisões etc. que poderão causar desastres graves.

11. Tomadas de amostragem - As tomadas de coleta de amostras ou outros pontos onde possa haver escapamento do fluido conduzido, devem ficar no máximo a 1 m acima do piso, e nunca acima do nível da vista do operador, principalmente tratando-se de fluidos perigosos.

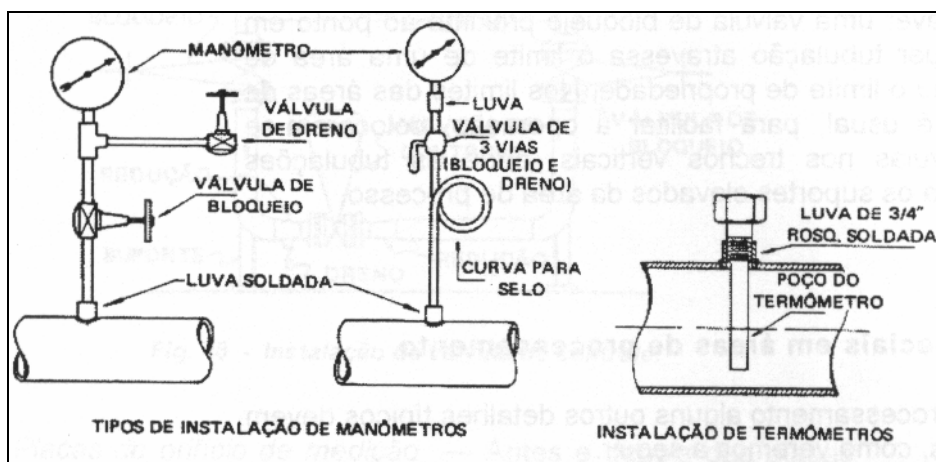



Fig. 47 - instalação de manômetros e termômetros.

12. Instalação de manômetros e termômetros - Os manômetros (e também os vacuômetros) são instalados em uma pequena derivação saindo de um "Tê" ou de uma luva soldada na tubulação principal. A derivação deve ter uma válvula de bloqueio e uma válvula de dreno e purga de ar; algumas vezes coloca-se uma válvula macho de 3 vias fazendo simultaneamente ambos os serviços. A Fig. 47 mostra duas instalações típicas de manômetros.

Os termômetros são também instalados em luvas soldadas na tubulação. Na luva é rosqueadas uma peça denominada "poço", para proteção do bulbo do termômetro que fica no interior do tubo, como se vê na Fig. 47.

13. Bloqueio duplo com dreno - Em locais onde seja necessário o bloqueio seguro de uma tubulação, isto é, uma garantia de não haver qualquer passagem de fluido de um aço para outro, mesmo no caso de defeito na válvula de bloqueio, usa-se um dispositivo conhecido como "duplo bloqueio com dreno". Consiste na colocação de duas válvulas de bloqueio, separadas por um pequeno trecho de tubo, onde se instala um dreno com válvula. A válvula do dreno deve permanecer aberta quando as válvulas de bloqueio estiverem fechadas. Qualquer defeito ou mau fechamento em uma das válvulas de bloqueio será imediatamente acusado pela saída de fluido pelo dreno, que ao mesmo tempo evita a passagem do fluido

pelo bloqueio. Tratando-se de fluidos perigosos deve haver uma tubulação saindo do dreno, até local seguro.

Esse dispositivo é muito usado quando a contaminação recíproca de dois fluidos não pode ser tolerada.

14. válvulas em extremidades livres - As válvulas situadas em extremidades livres de tubulações de fluidos de processo ou de vapor, devem ser fechadas com flanges cegos ou com bujões.

15. válvulas de bloqueio nos limites das áreas e de propriedades - Deve haver uma válvula de bloqueio próximo ao ponto em que qualquer tubulação atravessa o limite de uma área de processo ou o limite de propriedade. Nos limites das áreas de processo, é usual, para facilitar a operação, colocarem-se essas válvulas nos trechos verticais, onde as tubulações sobem para os suportes elevados da área de processo.

7 DETALHES ESPECIAIS EM ÁREAS DE PROCESSAMENTO

Em áreas de processamento alguns outros detalhes típicos devem ser observados, como veremos a seguir.

1. Tubo de contorno em válvulas de controle e outros equipamentos - As válvulas de controle, válvulas de redução de pressão, filtros, medidores e alguns outros equipamentos cujo serviço possa ser temporariamente dispensado, devem ter uma tubulação de contorno (by-pass) com válvula de regulagem e válvulas de bloqueio, antes e depois, para que o equipamento possa ser retirado de operação sem ser necessário parar todo o sistema. Dessa forma pode-se, com facilidade, fazer a manutenção ou a substituição da válvula ou equipamento.

Em operação normal, a válvula do contorno está fechada e as duas válvulas de bloqueio estão abertas. A Fig. 48 mostra uma instalação típica de válvula de controle com contorno e válvulas de bloqueio. A distância entre a válvula de controle e o tubo de contorno deve ser amplamente suficiente para permitir a desmontagem da válvula de controle. Por motivo de economia costuma-se fazer tanto a válvula de controle como a tubulação de contorno com diâmetro menor do que a tubulação principal.

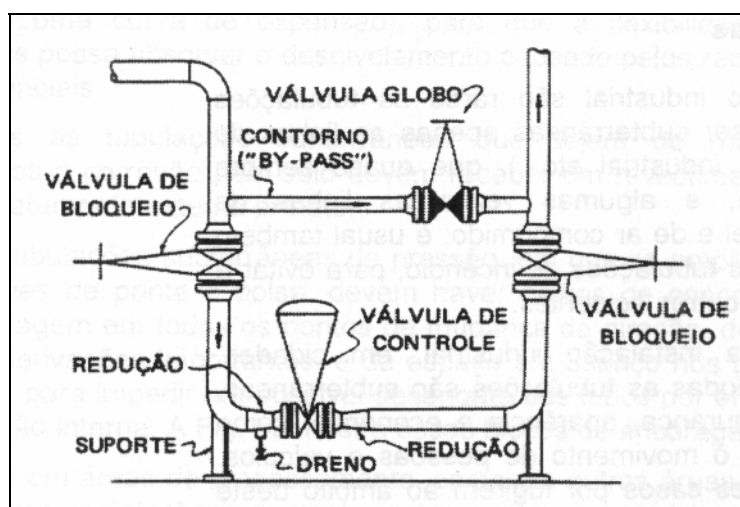



Fig. 48 - Instalação de válvula de controle.

2. Placas de orifício de medição - Antes e depois das placas de orifício de medição (orifice plates), venturis e outros dispositivos de medição de vazão, deve sempre ser deixado um comprimento de tubo reto, sem derivações, ou qualquer outro acidente. Esses comprimentos mínimos necessários são dados na publicação "Orifice Metering of Natural Gás", da "American Gas Association". Não devem ser colocadas placas de orifício de medição em tubos verticais com fluxo descendente.

As placas de orifício são instaladas entre flanges especiais, denominados "flanges para placa de orifício", que contêm, no corpo do flange, uma pequena tomada rosqueadas para a tubulação de medição de pressão. Esses flanges só são fabricados da classe 300# em diante.

3. Estações de serviço - Em todas as áreas de processamento e também em outros locais onde hajam grupos de bombas, compressores, ou outras máquinas ligadas as tubulações, ou ainda um conjunto numeroso de válvulas, devem ser colocadas tomadas com engate de mangueira para vapor, água e ar comprimido.

As três tomadas são grupadas juntas, em locais convenientes, a 1 m acima do piso, constituindo o que se chama uma "estação de serviço". As estações de serviço têm por finalidade auxiliar a manutenção, a limpeza e a extinção de princípios de incêndio. A localização das estações de serviço deve ser estudada de forma que qualquer equipamento possa ser atingido com uma mangueira de 15m no Maximo. Em cada tomada costuma haver uma válvula de bloqueio e uma peça para engate rápido de mangueira, todas sempre do mesmo diâmetro e geralmente de ¾”.

8 TUBULAÇÕES SUBTERRÂNEAS

Dentro de uma instalação industrial são raras as tubulações subterrâneas. Costumam ser subterrâneas apenas as linhas de esgotos (pluvial, sanitário, industrial etc.), que quase sempre funcionam por gravidade, e algumas vezes as linhas de distribuição de água potável e de ar comprimido; é usual também colocar enterradas todas as tubulações de incêndio, para evitar a possibilidade de colisões e outros acidentes.

Fora dos limites de uma instalação industrial, em cidades, estradas, ruas e campos, todas as tubulações são subterrâneas, tanto por questões de segurança, aparência e economia, como para não interferirem com o movimento de pessoas e veículos Não trataremos aqui desses casos por fugirem ao âmbito deste livro.

Como a maior parte das tubulações subterrâneas é lançada diretamente no solo, sem suportes nem fundações, não há motivo para a arrumação dos tubos em feixes paralelos de mesma elevação, nem para a obediência ao paralelismo a duas direções. As tubulações em ruas e estradas, dentro ou fora dos limites de uma

instalação industrial, devem ser paralelas a linha de centro da rua, os ramais podendo ter um percurso qualquer, de preferência o caminho mais curto entre os pontos extremos. As tubulações em terreno aberto seguem, em geral, o caminho mais curto entre os pontos extremos, compatível com as condições locais.

Em tubulações subterrâneas não se fazem mudanças de direção para dar flexibilidade pelas seguintes razões:

1. A maioria das tubulações é de temperatura ambiente, e como não está exposta ao sol, as dilatações são desprezíveis, sendo facilmente absorvidas pela movimentação dos tubos no solo.

2. Mesmo quando a tubulação trabalha um pouco quente, a livre movimentação dos tubos no solo e, em geral, capaz de absorver as dilatações.

3. Em caso de dilatações maiores, que não possam ser absorvidas desta forma, usam-se juntas de expansão ou ligações que permitam pequenos movimentos axiais, tais coma as juntas "Dresser", "Victaulic" etc., ou certos tipos de ligações de ponta e bolsa.

Nos pontos de ligação de uma tubulação subterrânea lançada diretamente ao solo, com qualquer equipamento ou construção sobre fundações, deve-se tomar especial cuidado com os recalques de terreno que podem causar desnivelamento ou mesmo a ruptura da tubulação. Tais são, por exemplo, os pontos de entrada de tubulações em edifícios, tanques, bombas, caixas subterrâneas e outras construções sobre fundações. O mesmo acontece em tubulações subterrâneas que tenham trechos sucessivos sobre fundações e sobre o solo, em terrenos de recalque apreciável. Uma das soluções possíveis para esse problema consiste em adotar-se um traçado sinuoso (como se fosse uma curva de expansão), para que a flexibilidade das curvas possa absorver o desnivelamento causado pelos recalques diferenciais.

Todas as tubulações subterrâneas que sejam de materiais sujeitos a corrosão pelo solo devem receber um revestimento ou um tratamento externo protetor.

Nas tubulações subterrâneas de pressão, em que se empreguem ligações de ponta e bolsa, devem haver blocos de concreto de ancoragem em todos os pontos de mudança de direção, defronte das derivações importantes, e de espaço em espaço nos trechos retos, para impedir um possível desengate dos tubos por efeito da pressão interna. A Fig. 52 mostra esses blocos de ancoragem.

Tanto em áreas de processamento, como em outras áreas dentro de uma instalação industrial é, às vezes, necessário colocar tubulações de aço abaixo do nível do solo. Para que seja possível a pintura, inspeção e manutenção, essas tubulações são usualmente instaladas dentro de canaletas de concreto com tampas removíveis, como mostra a Fig.48.

Essas canaletas, além do custo elevado, têm o grave defeito de serem focos de corrosão e de possível acumulação de líquidos e gases perigosos. Por todas essas razões, o emprego de canaletas deve ser reduzido ao mínimo, principalmente em instalações onde existam fluidos inflamáveis, resumindo-se a algumas linhas de sucção de bombas, recolhimento de condensado e outras com fluxo por gravidade. Todas as tubulações com isolamento térmico que tenham de correr abaixo do nível do solo devem obrigatoriamente ser instaladas dentro de canaletas. Não há necessidade de serem colocadas em canaletas quaisquer tubulações de ferro fundido, barro vidrado, concreto, plásticos e outros materiais não-metálicos.

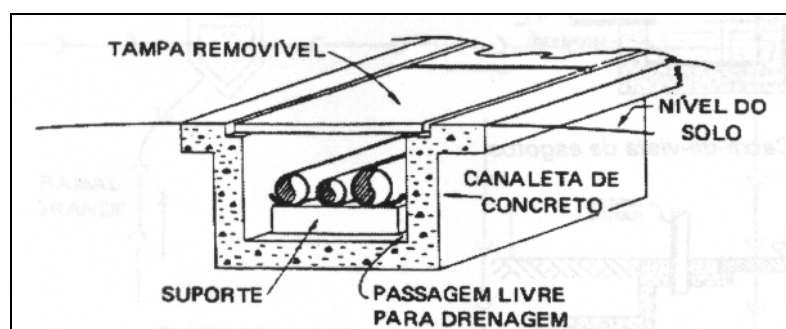



Fig. 48 - Canaletas para tubalações subterrâneas.

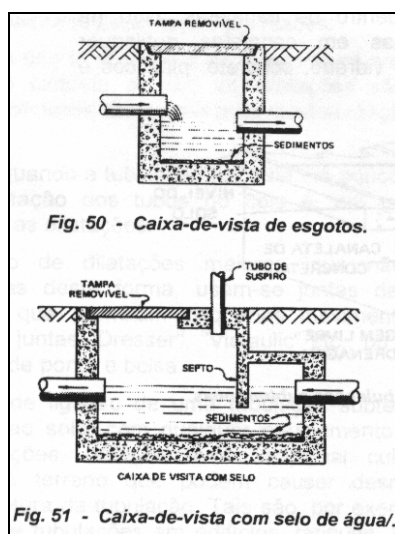
As canaletas devem ser construídas de maneira que seja possível e fácil a sua drenagem; por essa razão os suportes dentro da caneleta nunca devem se estender em toda a largura da mesma. O fundo da canaleta deve ter um caimento para facilitar a drenagem.

9 TUBULAÇÕES DE ESGOTOS

As tubulações de esgotos são sempre subterrâneas e funcionam quase todas como canais, isto é, por gravidade, com superfície livre. Por essa razão devem ter um caimento constante, que quanto maior for, maiores serão a velocidade e a vazão. Na prática em geral não se pode dar um caimento muito grande devido a limitações das diferenças de nível disponíveis.

Como as tubulações de esgotos sempre carregam uma certa quantidade de sólidos, devem ter, em determinados pontos, caixas de decantação denominadas de "caixas-de-visita", onde o material sólido fica depositado. As caixas-de-visita devem ter uma tampa removível para a limpeza (Fig. 50) e uma certa profundidade abaixo da entrada dos tubos, para a acumulação dos sólidos. As dimensões das caixas serão tanto maiores quanto maiores forem o diâmetro dos tubos, a quantidade de sólidos carregados e o intervalo previsto entre limpezas sucessivas.

Fig. 50 - Caixa-de-vista de esgotos.

Fig. 51 - Caixa-de-vista com selo de água/.

As caixas-de-visita pequenas, para tubos até 4" a 6” são, as vezes, de ferro fundido. As caixas maiores, e também freqüentemente as pequenas, são de concreto pré-moldado ou de alvenaria de tijolos, feitas no local. As tampas removíveis são quase sempre de ferro fundido mesmo para as caixas grandes.

Quando houver presença de gases inflamáveis, explosivos ou tóxicos na tubulação, as caixas-de-visita devem ter, como mostra a Fig. 51:

- Tampa fechando hermeticamente.
- Tubo de respiro levando os gases até local seguro.
- Septo dentro da caixa, formando um selo de água, para evitar a passagem dos gases perigosos através da caixa.

Em tubulações de esgoto sanitário esse mesmo sistema de caixas é também freqüentemente usado.
Em quaisquer tubulações de esgotos, devem ser colocadas caixas-de-visita nos seguintes pontos:

- Pontos de derivações importantes.
- Pontos de mudança de direção.
- Todos os pontos de mudança de elevação.
- Todos os pontos extremos.
- Em determinados pontos ao longo de trechos retos e compridos.

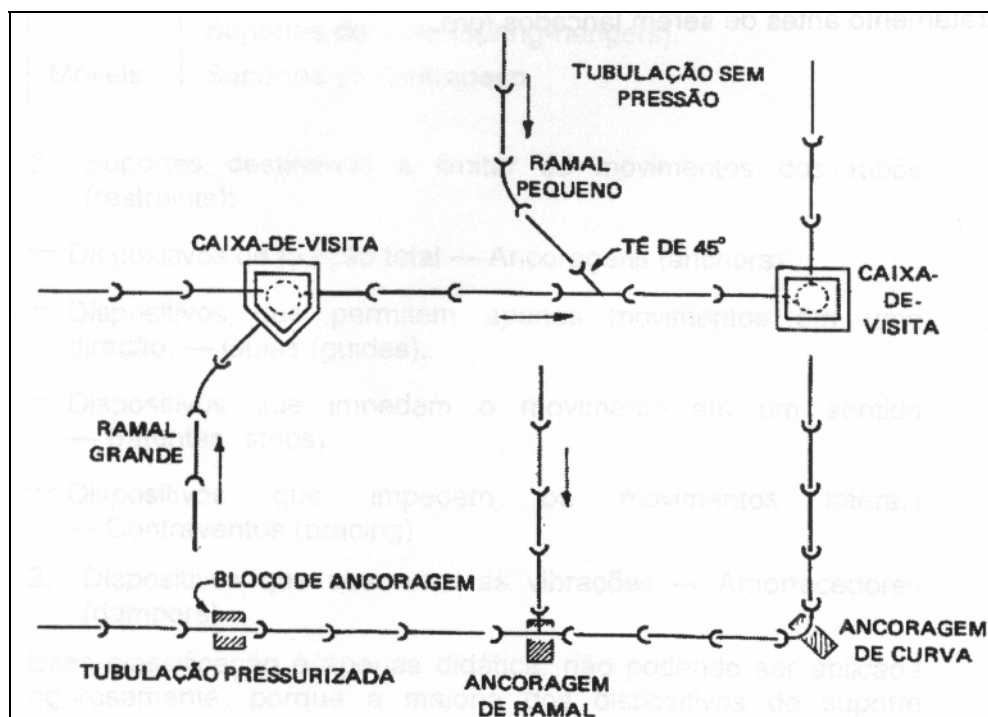



Fig. 52 - tubulações subterrâneas.

Todas as derivações em tubulações de esgotos devem ser feitas a 45° no sentido do fluxo (Fig. 52). Para ramais pequenos usam-se “Tês” ou cruzetas de 45°; para ramais grandes usam-se caixas-de-visita. Só se empregam curvas ou joelhos, em linhas de esgotos, para diâmetros pequenos (geralmente até 4”); para os diâmetros maiores, e também muitas vezes para os diâmetros pequenos, as mudanças de direção são feitas com caixas-de-visita.

Nos sistemas de esgotos pluviais e em alguns esgotos industriais em que os líquidos são coletados no piso, usam-se caixas de coleta com tampa gradeada (Fig. 53), que servem também como caixas de decantação. Quando houver presença de gases inflamáveis, explosivos ou tóxicos, as caixas de coleta no piso devem ter selo de água.

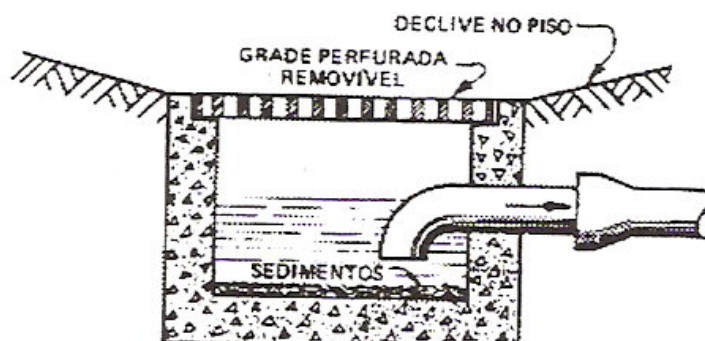



Fig. 53 - Caixa de coleta no piso

Em instalações industriais os sistemas de esgotos pluvial, industrial e sanitário são quase sempre independentes e projetados de forma a não permitirem a contaminação recíproca. Os efluentes de esgotos industrial e sanitário devem, em geral, receber algum tratamento antes de serem lançados fora.

10 SUPORTES DE TUBULAÇÃO

10.1 DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS SUPORTES DE TUBULAÇÃO

Os suportes de tubulação (pipe-supports) são os dispositivos destinados a suportar os pesos e os demais esforços exercidos pelos tubos ou sobre os tubos, transmitindo esses esforços diretamente ao solo, as estruturas vizinhas, a equipamentos ou, ainda, a outros tubos próximos.

Existe uma grande variedade de tipos e de modelos diferentes de suportes de tubulação. De acordo com a função principal que exercem, os suportes podem ser classificados em:

1. Suportes destinados a sustentar os pesos

	Apoiados.
Imóveis	Pendurados
Semimóveis	(pipe-hangers)
	Suportes de mola (spring-hangers).
Móveis	Suportes de contrapeso.

2. Suportes destinados a limitar Os movimentos dos tubos (restraints):

- Dispositivos de fixação total - Ancoragens (anchors).
- Dispositivos que permitem apenas movimentos em uma direção - Guias (guides).
- Dispositivos que impedem o movimento em um sentido - Batentes (stops).
- Dispositivos que impedem Os movimentos laterais - Contraventos (bracing).

3. Dispositivos que absorvem as vibrações -(dampers).

Essa classificação é apenas didática, não podendo ser aplicada rigorosamente, porque a maioria dos dispositivos de suporte preenche mais de uma das funções acima; por exemplo, quase todos os suportes que limitam os movimentos também sustentam os pesos e, reciprocamente, todos os suportes que se destinam a sustentar os pesos causam alguma limitação aos movimentos dos tubos.

As cargas que atuam sobre os suportes são as seguintes:

1. Pesos:

- Peso próprio dos tubos válvulas, e outros acessórios da rede de tubulações.
- Peso do fluido contido.
- Peso do isolamento térmico, se houver.

- Sobrecargas diversas exercidas sobre a tubulação, tais como peso de outros tubos pessoas, plataformas, estruturas etc., apoiadas na tubulação.

2. Forças de atrito provenientes dos movimentos relativos entre os tubos e os suportes.

3. Cargas conseqüentes das dilatações térmicas dos tubos

4. Cargas devidas a ações dinâmicas diversas, tais como golpes de ariete, acelerações do fluido circulante, vibrações, ação do vento etc.

Todas essas cargas devem ser avaliadas para se poder calcular as cargas exercidas sobre os suportes e transmitidas ao solo ou as estruturas e fundações.

Para o peso do fluido contido, considera-se, na maioria dos casos, o peso da água (para o teste hidrostático), quando for superior ao do próprio fluido, ou o peso do fluido, quando superior ao da água. Tratando-se de tubulações de grande diâmetro para gases essa consideração pode levar a um excessivo superdimensionamento dos suportes; permite-se então, nesses casos, não levar em conta o peso da água, desde que seja possível a construção de suportes provisórios para o teste hidrostático. Em um grupo de tubos paralelos no mesmo suporte, não há evidentemente necessidade de considerar todos os tubos cheios de água, porque os testes não precisam ser simultâneos.

É importante salientar que todos os equipamentos ligados á rede de tubulações (vasos, tanques, bombas etc.), devem ter suportes ou bases próprias, não se omitindo que sejam simplesmente suportados pela tubulação, mesmo quando se tratar de equipamentos pequenos.

O cálculo dos pesos e forças de atrito que agem sobre os suportes está no Cap. 7 do livro “Tubulações industriais - Cálculo", do mesmo autor. O cálculo dos esforços

provenientes das dilatações térmicas está nos Títulos "Acessórios de tubulação” e “Purgadores de vapor, separadores diversos e filtros”. 4 a 6 desse mesmo livro.

11 SUPORTES IMÓVEIS

Chamam-se suportes imóveis os que não se deslocam verticalmente, não permitindo assim nenhuma liberdade de movimento vertical aos tubos. São os mais comuns de todos os tipos de suportes.

Esses suportes podem ser apoiados ou pendurados, conforme transmitam os pesos para baixo ou para cima.

Existe uma variedade muito grande de tipos e modelos de suportes imóveis, na Fig. 54 estão mostrados alguns mais comumente usados.

Os tipos “a” e “b”, são os suportes simples, ou diretos, destinados a tubos situados a pequena altura e que transmitem os pesos diretamente ao solo ou a algum piso. O suporte “a” resume-se em uma mureta de concreto na qual está embutido um perfil metálico, que constitui a superfície de apoio dos tubos. O suporte “b” é uma viga metálica apoiada em blocos de concreto ou em estruturas metálicas. A Fig 54(c) é um suporte de pedestal, muito usado para a sustentação de curvas situadas no plano vertical e que, também, descarrega os pesos diretamente ao solo, eu a algum piso. O perfil metálico soldado ao tubo deve, de preferência, estar no alinhamento do trecho vertical da tubulação.

O suporte “d" é uma viga em balanço, transmitindo o peso para algum vaso, equipamento ou estrutura. A Fig 54(e) mostra um modelo dos suportes denominados 'trunion", muito empregado para a sustentação de curvas. Consistem em pedaços de perfis metálicos ou de tubos soldados à curva da tubulação e apoiados diretamente sobre uma viga. As Figs. 54(f) , (g) mostram modelos de suportes pare tubos

elevados; as estruturas serão tanto mais complicadas e reforçadas quanto mais pesados e mais elevados forem os tubos.

Quando se tiver tubos paralelos de diâmetros muito diferentes, procura-se fazer com que os tubos finos e leves sejam sustentados par suportes intermediários soldados aos tubos grossos. Esse sistema permite aumentar o espaçamento dos suportes principais até o vão admissível para os tubos mais grossos. Os tubos suportantes devem ter no mínimo 4 vezes o diâmetro do maior tubo suportado. Quando se empregam esses suportes intermediários, deve-se fazer uma verificação das tensões nos tubos suportantes (como detalhado no Cap. 3 do livro "Tubulações Industriais - calculo", do mesmo autor), sempre que houver solicitações grandes nesses tubos ou quando se tiver dúvidas sobre a capacidade de suporte dos mesmos. As Figs. 54(h), (i) mostram exemplos de suportes intermediários, sustentados por um ou dois tubos grossos. É importante que os suportes intermediários, quando pendurados em dois tubos, não sejam nunca rigidamente presos e ambos, para que seja possível o movimento relativo de um dos tubos suportantes em relação ao outro.

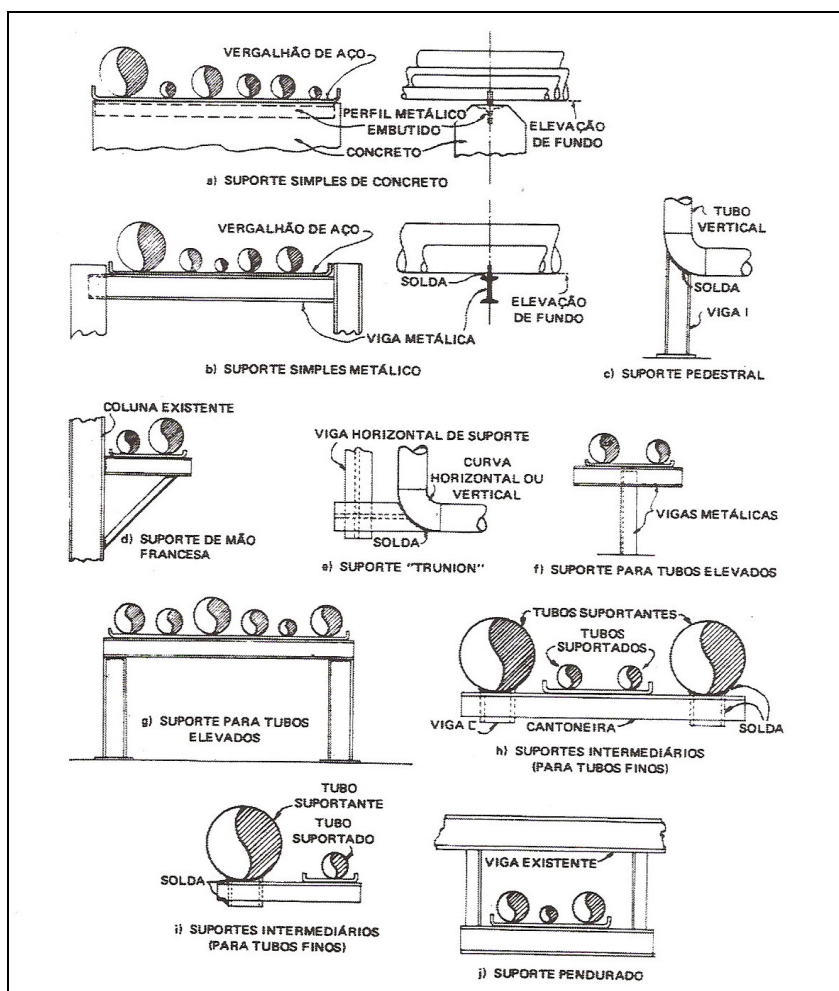



Fig.54 – Exemplos de suportes imóveis

A Fig. 54(j) mostra, finalmente, um modelo de suporte imóvel pendurado, transmitindo os pesos para uma estrutura situada acima dos tubos. Note-se que esses suportes só devem ser usados quando se tem uma estrutura superior preexistente, que é aproveitada para suportar os tubos.

É importante observar que quanto mais livres estiverem os tubos de se movimentar sobre os suportes, menores serão os esforços sobre os próprios tubos e sobre os suportes, sendo por isso inteiramente desaconselhado o uso de grampos, braçadeiras, ou outros recursos semelhantes de fixação dos tubos nos suportes.
Voltaremos a esse assunto no Sub-título “finalidades dos suportes que limitam os movimentos dos tubos" , a seguir.

11.1 CONTATO ENTRE OS TUBOS E OS SUPORTES

Nos suportes de tubulação procura-se geralmente evitar o contato direto entre os tubos e a superfície de apoio, com a finalidade de permitir a pintura da face inferior des tubes e da própria superfície de apoio. Um dos recursos usados para evitar esse contato direto e a colocação de um vergalhão de aço (geralmente de 3/4" ϕ), transversalmente aos tubos, soldado na superfície metálica do suporte, como mostram vários exemplos da Fig. 54. O vergalhão costuma ter as extremidades com as pontas viradas para cima, de modo a impedir que os tubos possam cair fora do suporte.

Tratando-se de tubos pesados (mais de 14"), ou de tubos com paredes muito finas, a carga concentrada resultante do contato com o vergalhão poderia danificar ou mesmo causar o colapso do tubo. Adotam-se, então, chapas de reforço ou berços construídos de chapa [Figs. 55(a), (b)], soldados na parede do tubo com o objetivo de melhorar a distribuição da carga concentrada. Os tubos de materiais plásticos, inclusive os plásticos reforçados (tubos “FRP”), devem ter uma chapa de reforço de plástico, colada ao tubo, quando apoiados sobre suportes de superfície plana.

Em trechos longos de tubulações pesadas é às vezes necessário o emprego de dispositivos especiais para reduzir o atrito do tubo nos suportes, facilitando os movimentos de dilatação. Entre esses dispositivos existem os suportes de rolos [Fig. 55(c)) e as placas de deslizamento. Os suportes de rolos são peças compradas prontas, de aço ou de ferro fundido. As placas de deslizamento de grafita autolubrificante ou de 'Teflon", ficam embutidas na superfície de apoio do suporte, e contra elas descansa a chapa inferior do berço do tubo. Essas placas apresentam um coeficiente de atrito muito baixo, e têm, sobre os rolos, as vantagens da simplicidade, vida longa e dispensa de qualquer manutenção. Tanto os suportes de rolos como as placas de deslizamento servem ainda para dar maior área de distribuição ao peso do tubo.

A redução do valor da força de atrito é principalmente importante no caso das tubulações sobre suportes elevados, como os mostrados nas Figs. 54(f), (g) e na Fig. 68, por exemplo. É fácil de entender que pelo fato da força de atrito ser horizontal, o esforço por ela exercido sobre a estrutura do suporte e sobre as fundações, é muito mais grave do que o exercido pela ação vertical dos pesos.

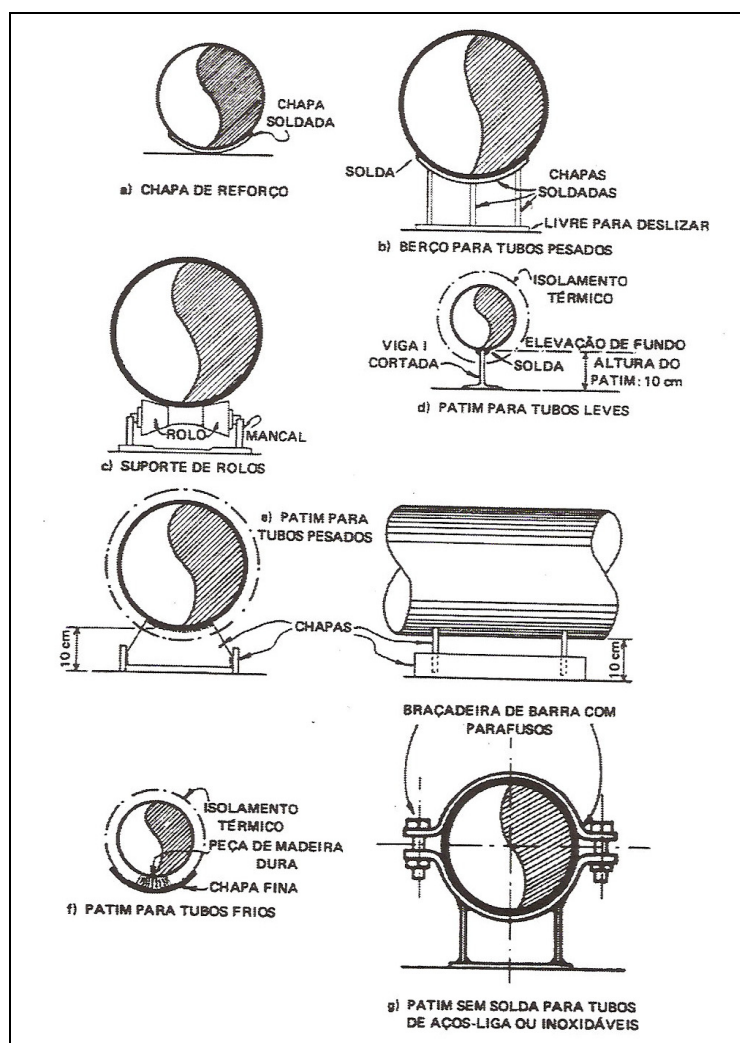



Fig.55 – Contato dos tubos com os suportes

Em nenhum caso pode-se permitir que tubos com isolamento térmico descansem diretamente nos suportes, porque o próprio peso dos tubos e principalmente o movimento de deslizamento sobre os suportes, em conseqüência da dilatação, danificariam completamente o isolamento. Empregam-se então os patins (pipe-

shoes), mostrados nas Figs. 55(d), (e), e que devem ter uma altura capaz de proteger o isolamento e um comprimento suficiente para não caírem fora do suporte por efeito da dilatação do tubo. Os patins geralmente usados têm 10 cm de altura e 30 cm a 45 cm de comprimento. Para tubos pesados os patins (berços) devem ser de forma a proporcionar uma adequada distribuição da carga concentrada. Com os tubos que trabalham a temperaturas abaixo de zero, os patins devem ser não-metálicos (freqüentemente de madeira ou de materiais plásticos), para evitar a formação de gelo por condensação da umidade do ar.

Para os tubos de aços-liga ou de aços inoxidáveis, devem-se usar patins e terços com braçadeiras aparafusadas (Fig. 55g), para evitar a execução de soldas de campo na tubulação. Essa mesrna observação aplica-se também a outras peças soldadas na tubulação, tais como ancoragens (Fig 64), olhais de suspensão de pendurais e suportes de molas (Figs. 56 e 62) etc.

Devido a existência dos patins de proteção, todas as tubulações que tenham isolamento térmico ficam com a elevação de fundo mais alta do que as outras tubulações sem isolamento colocadas sobre o mesmo suporte; essa diferença de elevação é em geral de 10cm.

12 SUPORTES SEMIMÓVEIS, SUPORTES PARA TUBOS VERTICAIS

Os suportes semimóveis (pendurais), mostrados na Fig. 56, são suportes que transmitem os pesos para cima, empregados principalmente para tubos leves, dentro de edifícios ou em áreas de processo. Para os tubos de plásticos, inclusive os plásticos reforçados, os suportes tipo braçadeira devem ser usados preferencialmente recomendando-se que tenham um angulo mínimo de 120°, no contato com o tubo. Todos esses suportes dão grande liberdade de movimentos aos tubos; por essa razão não devem ser empregados para tubos sujeitos a vibrações,

choques dinâmicos, golpes de ariete etc. Quando for necessário limitar os movimentos laterais de tubos suportados por pendurais, devem ser colocados contraventos, como veremos adiante.

Os pendurais costumam ser feitos de vergalhões de aço dobrado, presos ao tubo por meio de orelhas soldadas ou de braçadeiras, e pendurados em vigas de aço, de concreto ou em outros tubos. Os pendurais devem ter um sistema qualquer para a ajustagem do comprimento durante a montagem, que pode 5cr um esticador com rosca direita e esquerda, ou simplesmente uma emenda soldada no campo, de comprimento ajustável. Para tubos até 2" ϕ os vergalhões de aço devem ter um diâmetro mínimo de 1/2"; para tubos maiores o diâmetro mínimo deve ser de 5/8".

É importante observar que, exceto para os tubos de plástico, em que esses suportes são preferidos, qualquer tipo de suporte pendurado, isto é, transmitindo pesos para cima, só é de uso prático e econômico quando já existe uma estrutura acima do tubo, que é então aproveitada para a sustentação do mesmo. No caso geral, em que tais estruturas não existem, a solução correta e mais econômica são os suportes apoiados, transmitindo os pesos para baixo.

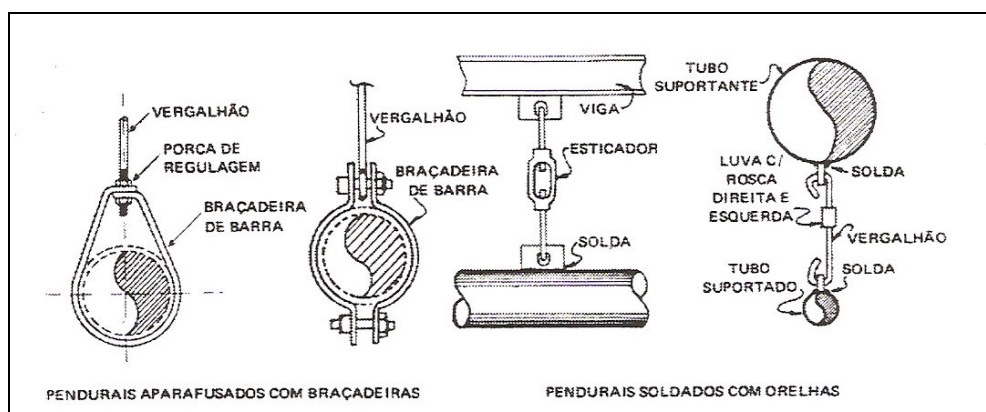



Fig 56 - Suportes semimóveis (pendurais).

Os suportes para tubos verticais consistem geralmente em orelhas soldadas às paredes dos tubos descansando em vigas horizontais ou presas por parafusos (Fig.57). No caso de tubos leves podemos sustentar o tubo simplesmente por meio de braçadeiras, como também mostra a Fig. 57. Para tubos pesados usam-se saias e reforços abraçando todo o tubo, para melhor distribuição de cargas. Note-se que

para a simples sustentação do peso de um tubo vertical bastaria um único suporte na parte superior do tubo; na prática, freqüentemente, há necessidade de maior número de suportes para evitar vibrações e deflexões laterais nos tubos.

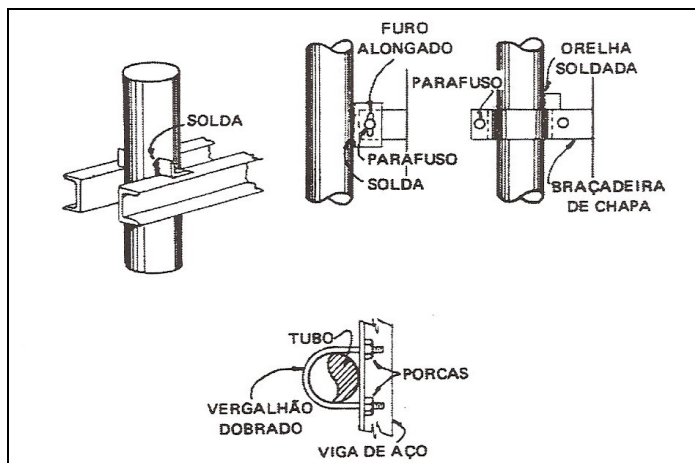



Fig 57 - Suportes para tubos verticais

13 SUPORTES ESPECIAIS PARA TUBOS LEVES

Para o suporte de tubos leves e pouco importantes (até 11/2" ϕ), tanto horizontais como verticais, e freqüentemente mais econômico o emprego de ferragens compradas prontas no comércio, principalmente no caso de tubos que correm isoladamente.

Há uma grande variedade dessas ferragens: braçadeiras grampos, colares, pendurais etc., como mostram os exemplos da Fig. 58. A maioria dessas peças é fabricada de ferro maleável, geralmente galvanizadas, embora existam também de ferro fundido, de aço e de materiais plásticos. Várias dessas ferragens têm chumbador integral, para fixação direta em concreto ou em alvenaria.

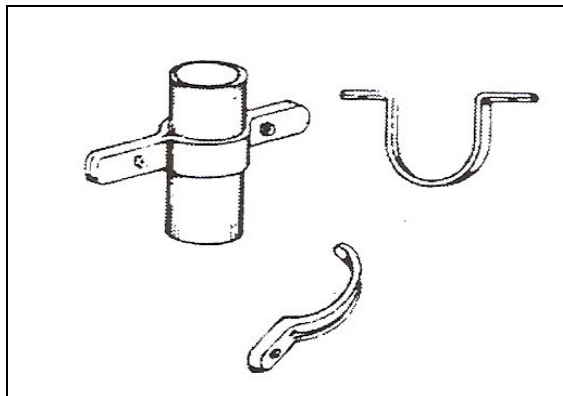



Fig. 58 Suportes para tubos leves.

Como já chamamos atenção no Sub-título “Suportes imóveis", deve ser sempre deixada a maior liberdade possível de movimentos aos tubos, e por esse motivo os grampos, braçadeiras etc., não devem ser apertados contra os tubos.

14 SUPORTES MÓVEIS

Os suportes móveis são dispositivos capazes de se deslocar verticalmente, dando certa liberdade de movimento vertical as tubulações, ao mesmo tempo que sustentam o seu peso. Esses suportes são empregados apenas em tubulações sujeitas a movimentos verticais de certa amplitude.

Os movimentos verticais das tubulações, que podem se dar para cima ou para baixo, são causados pelas dilatações de trechos verticais da própria tubulação, ou por movimentos dos pontos extremos, conseqüentes de dilatações de tanques, torres, vasos e outros equipamentos, ou de outros tubos ligados ao tubo em questão.

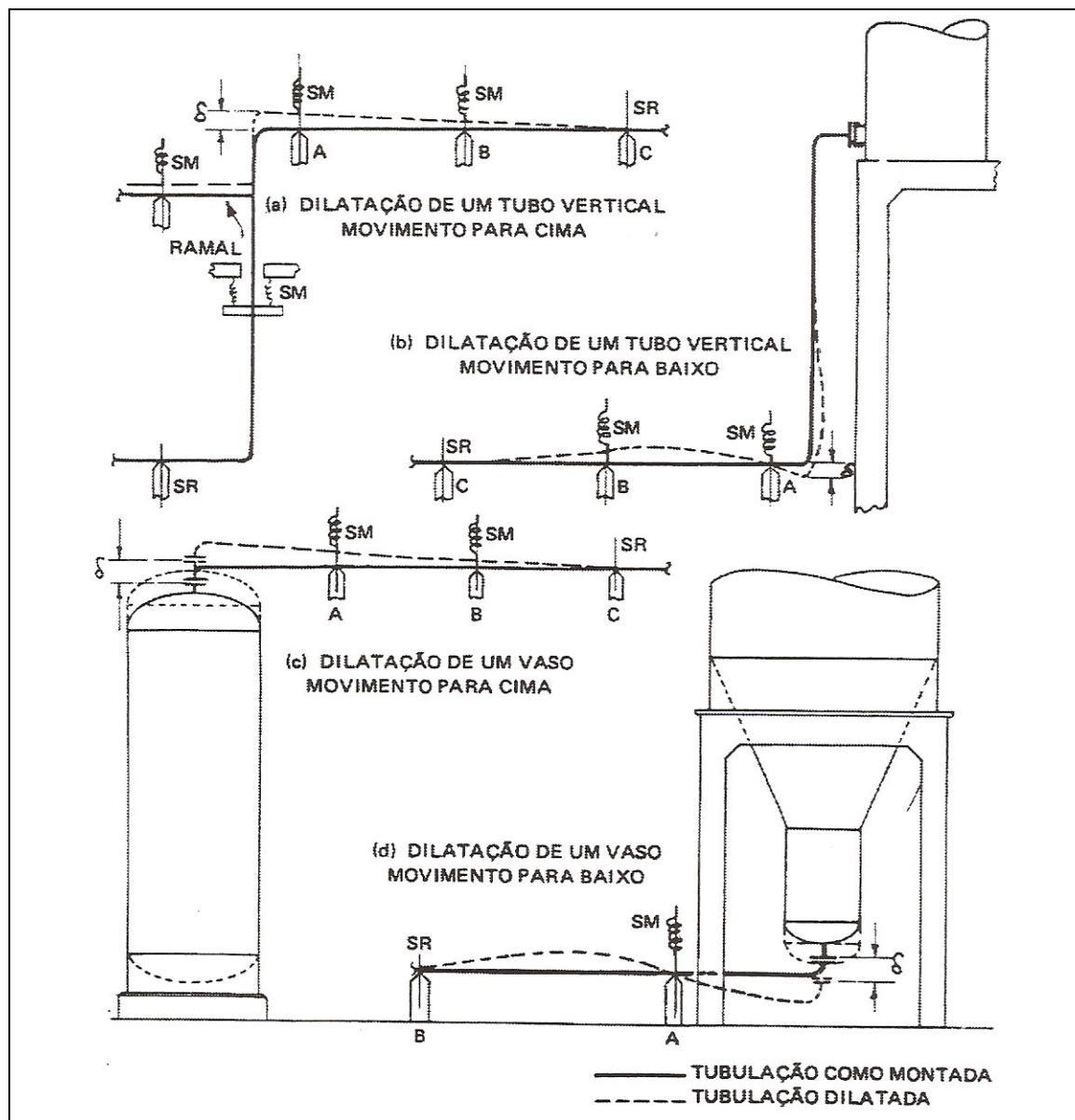



Fig. 59 - Empregos de suportes móveis.

Na Fig. 59(a) vemos, por exemplo, um caso típico de movimento vertical para cima, causado pela dilatação de um trecho vertical do próprio tubo. Se os suportes nos pontos A e B fossem imóveis, ficariam inoperantes, porque a tubulação se levantaria dos mesmos, resultando em um vão efetivo entre suportes muito maior do que o admissível, com as conseqüentes tensões excessivas no tubo e maior tendência a vibrações. Observe-se que quando um suporte fica inoperante (por estar

desnivelado, ou porque a tubulação se levantou), fazendo com que o vão entre suportes fique o dobro do usual, a tensão de flexão causada no tubo pela agho dos pesos ficam multiplicada por quatro, porque e proporcional ao quadrado do Va 0. A Fig. 59(b) mostra um caso de movimento vertical para baixo, causado ainda pela dilatação de um trecho vertical. Nesse caso, os suportes imóveis nos pontos A e B sofrerão forte compressão e a tubulação será fletida exageradamente. A dilatação de longos trechos verticais poderá causar, em certos casos simultaneamente, um movimento para cima em um extremo e para baixo no outro.

Nas figs. 59(c) e (d) estão exemplificados dois casos, semelhantes aos anteriores, cujos movimentos verticais são conseqüência de dilatações próprias de vasos ligados a tubulação. A Fig. 59(a) mostra ainda como poderá ocorrer movimento vertical em um ramal, devido a dilatação de outro tubo ao qual o ramal esteja ligado.

Em todos os exemplos da Fig. 59, deverão ser colocados suportes móveis nos pontos marcados SM; onde está indicado SR poderão ser empregados suportes imóveis.

Em alguns casos há necessidade de colocação de suportes móveis próximo a bocais de equipamentos, em tubulações sujeitas a movimentos verticais, com a finalidade de evitar esforços excessivos sobre esses bocais, ainda que o movimento vertical seja pequeno e possa perfeitamente ser absorvido pela flexão dos trechos livres horizontais da tubulação.

Existem três tipos gerais de suportes móveis:

- Suportes de mola simples, ou de carga variável.
- Suportes de mola de carga constante.
- Suportes de contrapeso

15 SUPORTES DE MOLA

Os suportes de mola (spring-hangers), de “carga variável", são os dispositivos de suporte móvel de uso mais freqüente em tubulações industriais. Consistem em uma mola helicoidal de aço, geralmente dentro de uma caixa também de aço, de maneira que o peso dos tubos seja suportado diretamente pela mola, tendendo a comprimi-la.

Esses suportes são chamados de carga variável porque a força necessária para comprimir a mola aumenta a medida que a deflexão aumenta, isto é, a cada posição de deflexão da mola corresponde uma capacidade de suporte diferente. A variação relativa da carga será tanto maior quanto menor for o comprimento da mola, e vice-versa. A Fig. 60 mostra em corte um suporte de carga variável.

Os suportes de carga constante são aparelhos também com mola de aço (Fig. 61), nos quais o peso dos tubos age através de um jogo de alavancas e articulações colocadas de tal maneira que o braço de alavanca que atua sobre a mola aumenta a medida que a deflexão aumenta, exigindo maior esforço para comprimir a mola. Dessa forma, a capacidade de suporte do aparelho fica praticamente constante ao longo de todo a curso de deflexão da mola. Esses dispositivos são bem mais caros e complicados do que os suportes de carga variável, e por isso mesmo de uso mais restrito.

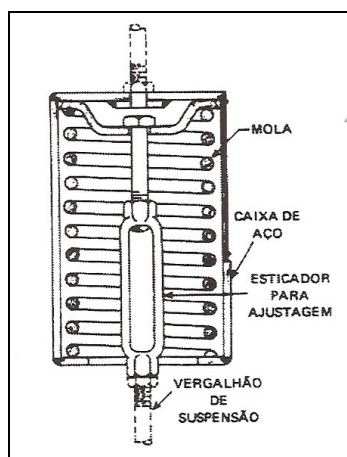



Fig. 60 – Suporte de mola de carga variável. (Cortesia de Grinnell Company Inc.)

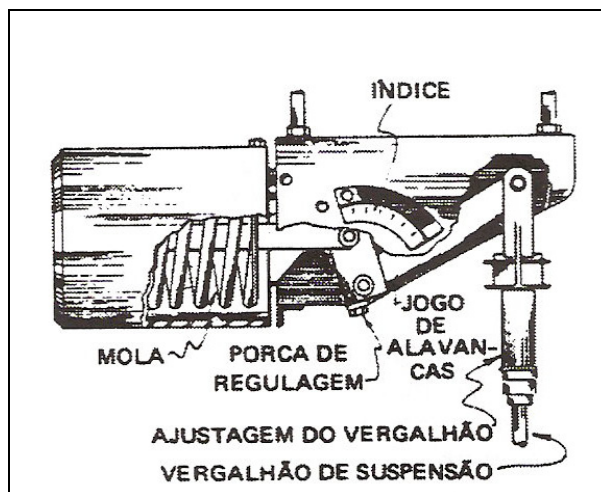



Fig.61 – Suporte de mola de carga constante.
(Cortesia de Grinnell Company Inc.)

Empregam-se os suportes de carga constante, para suporte de tubulações sujeitas a movimentos verticais, nos seguintes casos:

1. Quando os deslocamentos verticais forem muito grandes (15cm ou mais).
2. Quando a carga suportada for muito grande.
3. Quando a tubulação estiver ligada a algum equipamento que não possa admitir a transmissão de esforços da tubulação para o equipamento.

A norma ANSI.B.31 (Seçs. 1 e 3) exige que a variação da carga sustentada seja no máximo de 6%, em todo o curso de trabalho dos suportes de mola de carga constante.

Todos os suportes de mola, na maioria dos casos, trabalham pendurados; a Fig. 62 mostra várias disposições usuais para a sustentação de tubos horizontais e verticais. Note-se que para tubos grandes e pesados, bem como para tubos verticais, empregam-se suportes múltiplos, com dois ou mais aparelhos iguais geminados.

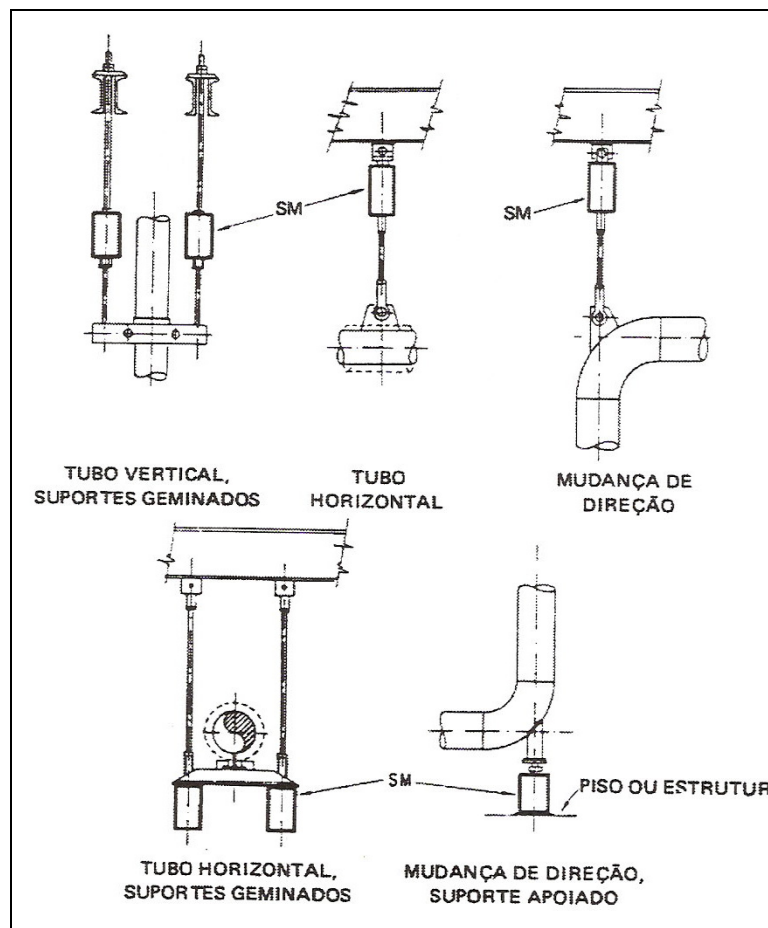



Fig. 62 - Algumas disposições usuais de suporte de molas (Cortesia de Grinneli Company Jnc4

As caixas de aço das molas têm, na parte superior, olhais onde são engatados elos ou vergalhões de aço presos a vigas ou estruturas. O peso dos tubos transmite-se aos aparelhos por meio de vergalhões de aço, presos aos tubos através de braçadeiras ou de orelhas soldadas. Todos as suportes de mola costumam ter um índice, por fora da caixa, dando uma indicação visual imediata da deflexão da mola. Quando instalados com a tubulação fria não dilatada, a mola deve ficar comprimida entre zero e um quarto do curso total.

Todos os suportes de molas possuem também um dispositivo (porca, esticador etc.) que permite uma regulagem local dentro de certos limites, para compensar possíveis erros no cálculo dos pesos ou na posição exata do aparelho.

Os suportes de mola podem também ser instalados sustentando a tubulação por baixo, como mostra a Fig 62.

A construção dos aparelhos, nesse caso, deverá ser diferente, porque se assentam diretamente no piso e o peso dos tubos age sobre a mola.

Os suportes de mola, de qualquer tipo, são sempre aparelhos comprados prontos e completos. Quando são recebidos da fábrica, as molas costumam vir com a calibragem correta, para dar a capacidade de suporte e a deflexão que foram pedidas. Para a encomenda de suportes de mola de qualquer tipo, devem ser fornecidos os seguintes dados:

- Tipo de suporte (carga variável ou carga constante).
- Capacidade de sustentaçõa (peso dos tubos a suportar).
- Deflexão máxima necessária na (função do movimento vertical do tubo no ponto considerado). Deve ser indicado se o movimento é para baixo, para cima ou em ambos os sentidos.
- Disposição desejada de pendurar ou de suportar.
- Espaço disponível.
- Localização do suporte considerado em relação a tubulação e aos demais suportes.
- Existência ou não de vibrações.

Fabricam-se suportes de carga variável para cargas ate 15.000kg e deflexões até 20cm e, de carga constante para cargas até 30.000 kg e deflexões ate 40cm. Na encomenda de um suporte de molas, o curso pedido (deflexão máxima) deve ser sempre um pouco maior do que o deslocamento máximo calculado da tubulação, para compensar possíveis imprecisões de cálculo.

No Cap 7 do livro "Tubulações industriais-Calcula", do mesmo autor, encontra-se o cálculo das cargas e dos movimentos nos suportes de mola.

16 SUPORTES DE CONTRAPESO

Os suportes de contrapeso são aparelhos muito simples, consistindo, como mostra a Fig. 63, em um contrapeso associado a um conjunto de roldanas e cabos de aço ou a uma alavanca. Esses suportes dão muita liberdade ao tubo suportado e têm evidentemente, uma capacidade de suporte rigorosamente constante, porque igual ao peso do contrapeso. São usados principalmente quando se têm grandes cargas simultaneamente com grandes deslocamentos verticais.

Os contrapesos devem ter dispositivos de segurança contra quedas e também limitadores de curso. Para maior segurança, os contrapesos devem, sempre que possível, ficar no nível do solo, e com guias laterais, como mostra a Fig. 63. O contrapeso deve ser calculado de forma que tenha o peso um pouco menor do que o tubo a ser suportado, para evitar que por imprecisão de cálculo o tubo fique depois com tendência a ser puxado para cima. Quando possível, o contrapeso deve ser regulável, mediante a adição ou remoção de pequenos pesos, para garantir o ajuste certo do peso depois do conjunto instalado.

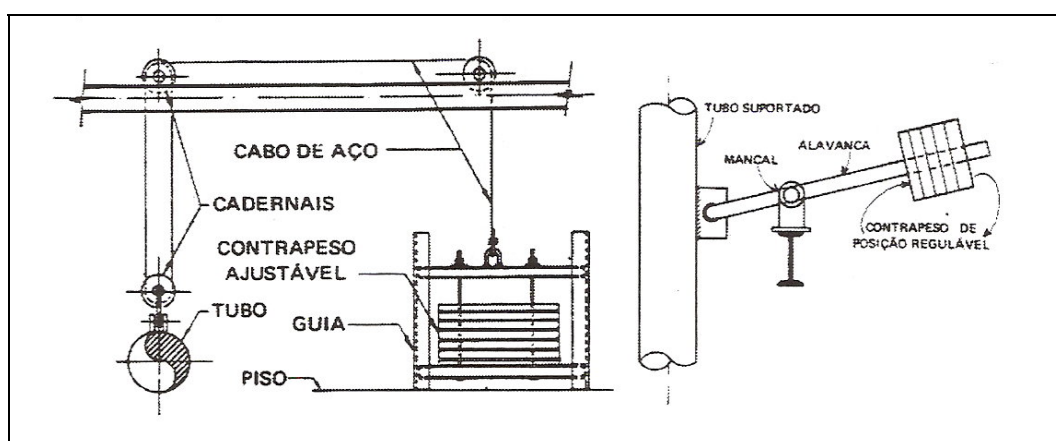



Fig. 63 - Suportes de contrapeso.

Apesar de sua simplicidade, esses dispositivos são na prática de uso bastante raro devido às seguintes grandes desvantagens:

- A carga sustentada pela estrutura é o dobro do peso da tubulação.
- Tendência a vibrações.
- Considerável espaço ocupado e atravancamento principalmente em locais congestionados.

17 SUPORTES QUE LIMITAM OS MOVIMENTOS DOS TUBOS

Como já vimos no Sub-título "Definição e classificação dos suportes de tubulação, são quatro os tipos gerais mais importantes de suportes que restringem os movimentos dos tubos: ancoragens, guias batentes e contraventos.

As ancoragens são pontos de fixação total, isto é, são suportes que restringem completamente todos os movimentos dos tubos. As guias mais comumente empregadas são suportes que permitem apenas deslocamentos axiais dos tubos, restringindo os demais movimentos. Existem ainda guias transversais, que permitem somente movimentos transversais do tubo, e guias de pinos que permitem somente movimento angular horizontal. Os batentes impedem apenas os deslocamentos axiais em um ou em ambos os sentidos. Os contraventos são dispositivos que a rigor não deveriam estar incluídas entre os suportes de tubulação, porque não suportam os pesos exercidos pelos tubos, limitando apenas os movimentos laterais dos mesmos.

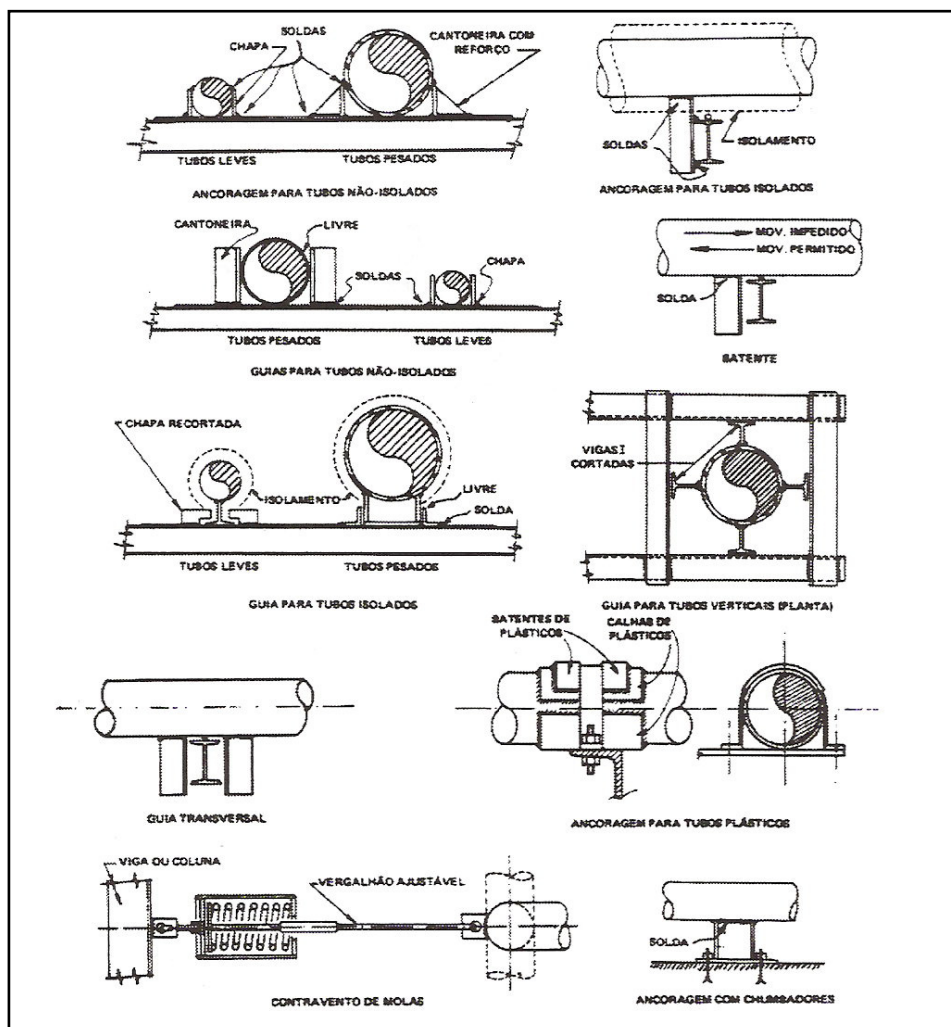



Fig. 64 - Ancoragens, guias, batentes e contraventos.

Todos os dispositivos de restrição não tem evidentemente, na realidade, uma eficiência total, que exigiria uma rigidez absoluta do suporte e uma imobilidade também absoluta da estrutura ou fundação a que o mesmo esteja ligado. Por essa razão, nenhum desses dispositivos impede de maneira total os movimentos que teoricamente deveria impedir.

A fig. 64 mostra vários dos modelos usuais desses suportes. Quanto mais pesada for a tubulação mais robustos têm de ser os dispositivos, porque maiores serão as forças e momentos de reação a que deverão resistir. Além de maior robustez, deve

ser prevista também, para as tubos grandes, uma melhor distribuição de tensões nas paredes, para evitar concentrações de esforços e mesmo o colapso do tubo.

Nas ancoragens em geral e feita a soldagem direta do tubo na chapa ou na viga de apoio, por intermédio de barras chatas, perfis ou estruturas especiais. Em algumas ancoragens usam-se chumbadores presos diretamente ao piso ou a estrutura de concreto.

As guias para os tubos horizontais consistem, na maioria das vezes, em barras chatas ou em perfis, soldados também na viga ou na chapa de apoio, deixando uma pequena folga (1,5 mm a 3 mm) de cada lado do tubo. Quanto maior for o diâmetro do tubo maior terá de ser o comprimento da guia (medido paralelamente ao tubo), para evitar possíveis movimentos angulares da tubulação. As guias usadas para os tubos horizontais geralmente não impedem o movimento vertical do tubo, que é combatido simplesmente pelo peso da tubulação.

As guias para os tubos verticais devem limitar os movimentos transversais da tubulação em duas direções ortogonais, como mostra o exemplo da Fig 64.

Para os tubos com isolamento térmico as ancoragens, guias e batentes devem ser modificados para conter o patim de proteção do isolamento.

Os contraventos resumem-se freqüentemente a vergalhões de aço engatados em braçadeiras ou em orelhas soldadas ao tubo, trabalhando apenas a tração. Empregam-se os contraventos para evitar movimentos laterais em tubos suportados por pendurais ou suportes de molas, caso em que geralmente não é possível a colocação de guias. Em tubulações com grandes movimentos verticais, os contraventos costumam ser de molas, como mostra o exemplo da Fig. 64, para que os tubos tenham maior liberdade de movimentos.

Para evitar a solda de elementos estruturais na parede do tubo, recomenda-se para os tubos de aços-liga o uso de ancoragens com braçadeiras aparafusadas. As ancoragens para tubos de plásticos são também de tipo semelhante, como o exemplo mostrado na Fig 64.

18 FINALIDADES DOS SUPORTES QUE LIMITAM OS MOVIMENTOS DOS TUBOS

Do ponto de vista da flexibilidade, o ideal seria que as tubulações não tivessem nenhuma restrição, isto é, que pudessem dilatar-se e movimentar-se livremente para todos os lados quando ocorressem variações de temperatura. Se essa situação fosse possível não haveria o aparecimento de tensões nos tubos como está explicado no Cap. 4 do livro "Tubulações Industriais – Cálculo", do mesmo autor. Na prática essa situação ideal e irrealizável, porque ainda que não houvessem dispositivos especiais para limitar os movimentos, os pontos extremos de fixação dos tubos nos vasos e equipamentos, e o atrito nos suportes, por si só já constituem restrições ao livre movimento dos tubos.

Embora qualquer restrição aos movimentos tenda a diminuir a flexibilidade natural das tubulações, essas restrições são necessárias pelos seguintes motivos:

a) Limitar e dirigir os movimentos causados pelas dilatações térmicas.
b) Proteger os equipamentos ligados à tubulação e os pontos fracos da própria tubulação, contra os esforços e reações provenientes da dilatação térmica.
c) Subdividir sistemas complexos ou pelo menos simplificar a seu comportamento quanto à dilatação térmica, para facilitar o estudo da flexibilidade.
d) Aumentar a capacidade de auto-suporte da linha, permitindo, em certos casos, um maior espaçamento entre os suportes.
e) Isolar as vibrações ou aumentar a freqüência natural das mesmas, para diminuir a amplitude e evitar ressonâncias.
f) Melhorar, em alguns casos raros, a flexibilidade do sistema.

A limitação e orientação dos movimentas de dilatação dos tubos são necessárias pelas seguintes razões:

a) Fazer com que as dilatações se dêem tal como previsto no estudo de flexibilidade da tubulação, e não de uma maneira aleatória qualquer.
b) Evitar interferências, isto é, evitar que os tubos, ao se dilatarem, esbarrem uns contra os outros, ou contra paredes, estruturas, equipamentos etc.
c) Evitar flechas exageradas, no próprio tubo, por efeito de flambagem, ou em um tubo-tronco, pela dilatação de um ramal a ele ligado.
d) Evitar deformações exageradas em ramais finos ligados ao tubo em questão.
e) Evitar movimentos laterais e angulares em juntas de expansão que se admitam movimentos axiais. Evitar também momentos de torção em tubos ligados a quaisquer juntas de expansão, porque a resistência a torção de todas essas peças é muito pequena.

É fácil de se entender que a tubulação, caso seja deixada a esmo, poderá ter movimentos muito diferentes dos que foram previstas no projeto. Por exemplo, em um tubo reto longo, com uma curva de expansão, prevê-se no projeto que apenas a curva de expansão se deforme. Na prática, é evidente que se não foram colocadas guias nos trechos retos antes e depois da curva de expansão, teremos sempre flambagens e outras deformações nesses trechos retos, e não somente as deformações previstas na curva de expansão. Essas flambagens laterais e outras deformações podem tensionar o tubo em excesso, e podem também fazer o tubo esbarrar em obstáculos ou cair dos suportes. Outros exemplos semelhantes poderiam ser dados de efeitos indesejáveis dos movimentos arbitrários de uma tubulação, mostrando a necessidade de se obrigar que os movimentos se dêem apenas tais como previsto no projeto.

A localização dos pontos de suporte e de fixação dos tubos deve ser sempre estudada simultaneamente com a flexibilidade. Como está explicado no Cap. 4 do livro "Tubulações Industriais - Cálculo", já citado, uma pequena modificação na

natureza ou na posição das fixações, pode alterar muito o valor dos esforços nos tubos e das reações nas extremidades.

As forças de reações nas extremidades dos tubos, onde os mesmos se ligam as válvulas ou a outros equipamentos, devem ser limitadas pelas seguintes razões:

a) Evitar vazamentos em flanges e roscas.
b) Evitar a transmissão de esforços exagerados às carcaças de válvulas e de equipamentos, freqüentemente feitas de ferro fundido e por isso mesmo incapazes de resistir a grandes esforços.
c) Evitar desalinhamentos em hastes de válvulas ou em eixos de bombas, compressores, turbinas e outras máquinas que podem causar desgaste de mancais e de engachetamentos, vibrações etc.

Para todas as finalidades acima descritas, o uso de ancoragens deve ser limitado, se possível, apenas aos casos em que haja necessidade de se impedir totalmente a propagação de esforços ou de vibrações, porque esses dispositivos, devido a fixação total, restringem muito a flexibilidade natural das tubulações. Para a maioria dos casos de limitação e orientação dos movimentos de dilatação e, também, para a proteção de equipamentos e de pontos mais fracos da linha, não há em geral necessidade de fixação total; dessa forma, o uso adequado de gulas, batentes e contraventos satisfaz inteiramente.

19 EXEMPLOS DE EMPREGO E LOCALIZAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE LIMITAÇÃO DE MOVIMENTOS

Vamos dar a seguir os casos mais freqüentes de emprego e de localização de ancoragens, guias e batentes em tubulações; a Fig. 65 mostra a maioria desses casos de emprego.

1. Ancoragens

– As ancoragens são empregadas principalmente nos seguintes casos:

a) Subdivisão de linhas longas - As tubulações de direção geral retilínea e de grande extensão, devem ser subdivididas em trechos parciais, por meio de ancoragens intermediárias (ancoragens A-1, da Fig. 65), devendo cada trecho entre duas ancoragens ter uma curva de expansão independente. A finalidade dessa subdivisão é evitar dilatações totais de grande amplitude, que exigiriam curvas de expansão de grandes dimensões, geralmente impossíveis de acomodar dentro do espaço disponível da faixa de passagem de tubulações.

Por exemplo, o ponto extremo de um trecho com 200 m de comprimento, teria uma dilatação de cerca de 30 cm, para uma diferença de temperatura de apenas 150°C; com um movimento de dilatação dessa ordem dificilmente o tubo deixaria de se encostar em algum obstáculo ou tubo vizinho. Deve ser observado também que os trechos de grande comprimento, devido ao seu peso e ao atrito nos suportes, tendem a flambar lateralmente quando se dilatam. Na prática, aconselha-se fazer a subdivisão de trechos de forma que não se tenham movimentos de dilatação superiores a 10cm.

b) Tubulações com juntas de expansão - Em tubulações com juntas de expansão cada junta deve ficar sempre entre duas ancoragens ou fixações equivalentes (ancoragens A-2, da Fig. 65), para poderem funcionar corretamente. Como já vimos no Sub-título "Movimentos das juntas de expansão", com exceção das juntas articuladas, nunca se deve colocar mais de uma junta de expansão entre dois pontos de ancoragem.

c) Limites de áreas - Devem ser colocadas ancoragens em todas as tubulações nos pontos limites de áreas de processamento, para evitar a transmissão de esforços desenvolvidos nas tubulações externas para dentro da área, e vice-versa (ancoragens A-S, da Fig. 65). Pela mesma razão, devem também serem

colocadas ancoragens em todos os pontos em que uma tubulação atravesse o limite de uma propriedade.

d) Subdivisão de tubulações complexas - As tubulações com traçado muito complexo, ou com numerosos ramais e pontos de fixação, podem ser subdivididas em trechos independentes por meio de ancoragens, para facilitar o Cálculo de flexibilidade (ancoragens A-4, da Fig. 65).

e) Estações de válvulas de controle - É usual colocar-se uma ancoragem em um dos lados das estações de válvulas de controle, para evitar movimentos nessas válvulas (ancoragem A-S, da Fig 65).

f) Tubulações de ponta e balsa - Nas tubulações com ligações de ponta e bolsa ou com ligações patenteadas tipos "Dresser", “Victaulic", "Gibaur” etc., as ancoragens são empregadas com a finalidade de evitar que as ligações se desengatem por efeito de pressão interna do fluido ou dos golpes de ariete. Nessas tubulações, tanto subterrâneas como não-subterrâneas, a não ser que a pressão interna seja nula ou muito baixa, devem ser colocadas obrigatoriamente ancoragens em todos os pontos de derivação e de mudança de direção, e também de espaço em espaço ao longo dos trechos retos como mostra a

g) Isolar vibrações - Nas tubulações sujeitas a vibrações de grande freqüência e pequena amplitude, as ancoragens podem ser empregadas com a finalidade de impedir a propagação das vibrações.

h) Válvulas de segurança - Algumas vezes e necessário colocar ancoragens atrás de válvulas de segurança, para absorver a reação de abertura da válvula, principalmente para altas pressões e grandes vazões.

Observações:

- Ancoragens próximas a bocais - Não se deve nunca colocar ancoragens próximas a bocais de vasos ou de equipamentos. Ainda que a trecho entre o bocal e a ancoragem não seja retilínea, a sua dilatação pode facilmente criar tensões perigosas no bocal. Convém observar que na ligação de um tubo com um vaso ou um equipamento, o que funciona propriamente como ponto de ancoragem não é o bocal de ligação, mas sim o ponto de chumbação do vaso ou do equipamento na sua base. Esse ponto às vezes está relativamente afastado do bocal de ligação, e essa distancia, que influirá na dilatação própria do equipamento, deve ser levada em consideração no cálculo de flexibilidade da tubulação.
- As travessias de tubos em diques de terra não constituem pontos de ancoragem, porque os tubos podem sempre se movimentar através do dique.

2. Guias

São os seguintes os principais casos de emprego de guias:

a) Trechos retos longos - Em todos os trechos retos longos, principalmente quando de tubos de pequeno diâmetro, devem haver guias a cada 3 ou 4 suportes, para manter o alinhamento dos tubos e evitar vibrações (guias G-1, da Fig. 65). Deve haver também uma guia em todas as extremidades livres de tubulações, fechadas com flanges cegos, tampões etc.

b) Proteção de equipamentos e orientação de dilatações - No sistema exemplificado na Fig. 65, a guja G-2 tem a finalidade de fazer com que a dilatação do trecho Norte-Sul da tubulação de recalque da bomba se dê exclusivamente para a direção norte, diminuindo assim os esforços sobre a bomba. As guias G-3 têm por finalidade obrigar as curvas de expansão a se deformarem, evitando flambagens laterais nos trechos retos.

c) Tubulações com juntas de expansão - Todas as tubulações com juntas de expansão devem ter guias, ou dispositivos de fixação equivalentes (guias G-4 da Fig. 65), para evitar movimentos laterais e de torção, no caso de juntas que só admitam movimentos axiais. A localização das guias e o seu espaçamento dependem do diâmetro do tubo e do tipo da junta de expansão; em cada caso, o fabricante da junta deve ser consultado sobre esse assunto para que se possam obter as indicações corretas. De um modo geral, o espaçamento entre as guias costuma ser de 1,5 2XA a 3 vezes o vão entre os suportes, devendo a distância entre a junta de expansão e a primeira guia ser de aproximadamente 5 diâmetros do tubo. As tubulações com juntas de expansão devem ser suportadas de forma que nenhum peso fique atuando nas juntas, principalmente quando se tratar de tubulações pesadas.

d) Tubulações verticais - Devem ser colocadas guias em tubos verticais (guias G-5 da Fig. 65), para diminuir a tendência natural a vibrações.

e) Estações de válvulas de controle - É usual também serem colocadas guias nas estações de válvulas de controle (guia G-6, da Fig. 65), no lado oposto à ancoragem, para proteção da válvula de controle.

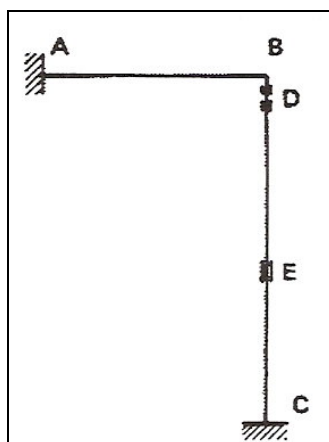



Fig. 66

Observação: As guias não devem, em princípio, ser colocadas próximo de qualquer ponto de mudança de direção dos tubos. Suponhamos, por exemplo, que existisse uma guia próxima ao ponto B, na configuração mostrada na Fig. 66. Como a guia impede os movimentos laterais do tubo, passaria a funcionar, em relação ao trecho AB, como se fosse um ponto de ancoragem, opondo-se a dilatação do trecho AB e a flexação do trecho BC. Essa guia causaria então uma tensão excessiva no trecho BC e flambagem lateral no trecho AB.

A guia deveria estar colocada no ponto E, de forma que o trecho BE tivesse um comprimento suficiente para fletir sob a ação da dilatação de AB, sem causar tensões excessivas.

3. Batentes

O caso típico de emprego dos batentes é a penetração de equipamentos e orientação de dilatações, como o exemplificado em B-I, na Fig. 10.12, cuja função é evitar movimentos na direção norte da tubulação de sucção da bomba.

20 SUPORTES PARA TUBOS SUJEITOS A VIBRAÇÕES

Os tubos sujeitos a vibrações fortes (como, por exemplo, os tubos ligados a compressores, bombas alternativas etc.) devem ter suportes e fixações independentes, para que suas vibrações não se transmitam as estruturas e aos outros tubos.

Quando as vibrações são de grande amplitude, freqüentemente são necessários dispositivos especiais para absorver essas vibrações, tais como amortecedores, suportes de mola ou mesmo juntas de expansão. Os amortecedores usados para essa finalidade são geralmente iguais aos amortecedores hidráulicos fabricados para veículos rodoviários e ferroviários. O tubo sujeito a vibrações e conectado ao

amortecedor por meio de um tirante regulável e o amortecedor é rigidamente preso a uma estrutura fixa.

Para vibrações de alta freqüência e pequena amplitude a solução é, geralmente, a fixação rígida dos tubos por meio de ancoragens em vários pontos.

21 LOCALIZAÇÃO DOS SUPORTES DE TUBULAÇÃO

A localização final dos suportes de toda rede de tubulações é baseada nos seguintes princípios gerais:

- Nenhum trecho de tubulação pode ter qualquer vão entre suportes consecutivos maior do que o seu vão admissível.
- O numero total de suportes deve ser o menor possível.
- Os suportes devem permitir a maior liberdade possível de movimentos as tubulações.

Essa localização deve atender ainda, quando necessário, aos seguintes requisitos adicionais:

É recomendável que sejam colocados, quando possível, suportes nas curvas situadas no plano horizontal para evitar que o peso da curva não suportada introduza esforços de torção no tubo.

Deve-se sempre procurar localizar suportes próximos as cargas concentradas importantes, tais como válvulas e derivações pesadas, etc. Quanto isso não for possível, deve ser estudado o efeito dessas cargas concentradas no trecho de tubo em questão. As peças pesadas ligadas a tubulação podem ter suportes diretamente embaixo delas, mas sempre deve ser feito um estudo do possível efeito de concentração de esforços nesses equipamentos, principalmente tratando-se de peças de ferro fundido.

No caso de tubulações conectadas a algum equipamento que possa ser removido para manutenção, recomenda-se posicionar os suportes de forma que a tubulação continue devidamente suportada estando o equipamento removido.

22 PROJETO DOS SUPORTES DE TUBULAÇÃO

Quase todos os dispositivos de suporte e de fixação das tubulações industriais costumam ser peças feitas no local da obra durante a montagem.
Teoricamente, cada suporte em particular deverá resistir a uma combinação diferente de cargas, que será função do número e diâmetro dos tubos suportados, do tipo do suporte, do tragado das tubulações etc. Na prática, será evidentemente impossível fazer-se o cálculo e o projeto de cada suporte individualmente; escolhe-se então e projeta-se um determinado número de modelos de cada tipo de suporte, que ficarão padronizados para uso em toda a obra. O projeto geral será feito de forma que, tanto quanto possível sejam empregados apenas os tipos padronizados.

Projeta-se, por exemplo um tipo de suporte simples para cargas até 250 kg, outro tipo para cargas de 250kg a 500kg, outro tipo para cargas acima de 500kg etc.; da mesma forma. projeta-se um tipo de guia para tubos ate 4”, outro tipo para tubos de 6" a 12", e assim por diante para todos os outros tipos de suportes e de fixações. A maior despesa que se terá de material será largamente compensada pela simplificação de projeto e de fabricação das peças. Cada tipo padronizado receberá uma sigla indicativa que aparecerá em todas as plantas de tubulação. Por exemplo: Os suportes simples serão denominados S-I, S-2, S-3 etc.; as ancoragens A-1, A-2, A-3 etc e assim por diante.

O projeto em si, dos suportes, consistirá no dimensionamento pelas fórmulas da Resistência dos Materiais, em função do tipo de suporte e das cargas que estejam atuando. Embora o projeto dos suportes seja sempre parte integrante do projeto de tubulações, não vamos entrar aqui em maiores detalhes sobre esse assunto.

No projeto de todos os tipos de suportes e de fixações deve ser adotado um amplo coeficiente de segurança (geralmente o valor 4, no mínimo), pelas seguintes razões:

– Dar ao suporte, ou ponto de fixação, bastante nitidez e imobilidade, de modo que não apresentem flechas ou deformações sensíveis, uma vez que a tubulação será calculada supondo que todos esses dispositivos sejam indeformáveis.
– Permitir que se possa adotar um menor número de dispositivos padronizados, abrangendo cada um maior faixa de variação de cargas
– Permitir que possam ser feitas futuras ampliações na instalação sem necessidade de modificações ou reforços nos suportes.
– Dar uma boa margem de sobre-espessura para corrosão, porque esses dispositivos, na maioria dos casos, ficam em locais de difícil acesso para uma pintura e manutenção bem feitas, e estão assim freqüentemente sujeitos a intensa corrosão, Por esse motivo, não se devem adotar chapas, barras e perfis com espessura inferior a 6 mm.

De acordo com a norma MSS-SP.58 (da "Manufacturers Standard Society") a tensão admissível, até 350°C, para o aço-carbono estrutural para suportes 6 de 850 kg/cm2. A norma ANSI - B.31 permite que para o teste hidrostático a tensão admissível nos suportes possa atingir ate 80% do limite elástico do material.

A maioria dos dispositivos de suporte e de fixação é fabricada de aço estrutural por meio de chapas, perfilados, vergalhões ou pedaços de tubos de aço, como já vimos nas Figs. 54, 55, 56, 57, e 64.

Para peças sujeitas principalmente a compressão, tais como berços e suportes de rolos, pode-se admitir o uso de ferro fundido, existindo no comércio diversos modelos de peças desse material. Pela norma MSS-SP.58, o ferro fundido e o ferro maleável só podem ser empregados para temperaturas até 200°C.

No projeto de todos esses dispositivos é preciso sempre levar em consideração o problema da concentração de esforços, porque em todos os pontos de suportes ou de fixação atuam sobre o tubo, forças provenientes dos pesos ou das reações que se opõem aos movimentos dos tubos. Essas forças, que atingem as vezes valores bastante elevados, devem ter uma área de distribuição adequada para não causarem concentrações de esforços capazes de deformar as paredes do tubo, ou até de produzir o colapso do mesmo. As forças serão tanto maiores quanto mais pesadas ou mais quentes forem as tubulações; para essas últimas, deve ser considerada ainda a diminuição da resistência do material com a temperatura.

Quando se tiverem elementos soldados diretamente as paredes do tubo, devem-se evitar concentrações de soldas, principalmente de cordões espessos, porque podem causar também tensões residuais elevadas no material. Como regra geral, recomenda-se que a solda de qualquer elemento na parede do tubo (patins, reforços, berços, ancoragens etc.), tenha um cordão contínuo de solda de selagem em toda volta, para evitar a penetração de umidade e a corrosão. Tratando-se de tubulações quentes, deve ser lembrada entretanto, o problema da dilatação diferencial entre o tubo e o elemento soldado (mais frio), que pode dar origem a elevadas tensões. Por esse motivo, recomenda-se evitar ao máximo as peças soldadas na parede de tubos com temperatura de projeto superior a 400ºC, sendo preferíveis nesse caso os patins, berços etc., presos por braçadeiras aparafusadas ou outros recursos que dispensem a solda. Devem também ser evitados os elementos soldados em tubos de aços-liga ou outros materiais cuja soldagem exija tratamentos térmicos, para que não haja necessidade desses tratamentos que são caros e de difícil execução na obra.

23 ESTRUTURAS DE APOIO E FUNDAÇÕES

Os grupos de tubos paralelos, como em geral representam cargas consideráveis, tem normalmente fundações e estruturas de apoio próprias. Para as tubulações a pequena altura sobre o solo a estrutura de apóia resume-se no próprio maciço de

fundação de concreto ou blocos de concreto sobre as estacas, quando a fundação e de estacas. Nesses elementos de concreto estão embutidos os perfis de aço que sustentam os tubos, como mostra a Fig. 67.

As tubulações elevadas costumam correr sustentadas em estruturas de pórtico (pipe-yards) ou em vigas em balanço com mãos francesas, como mostra a Fig. 68. As estruturas de

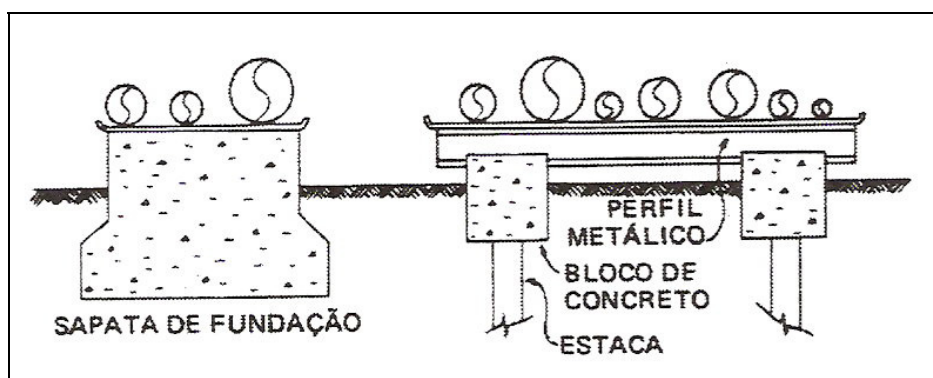



Fig. 67 - Fundações para suportes sobre o solo.

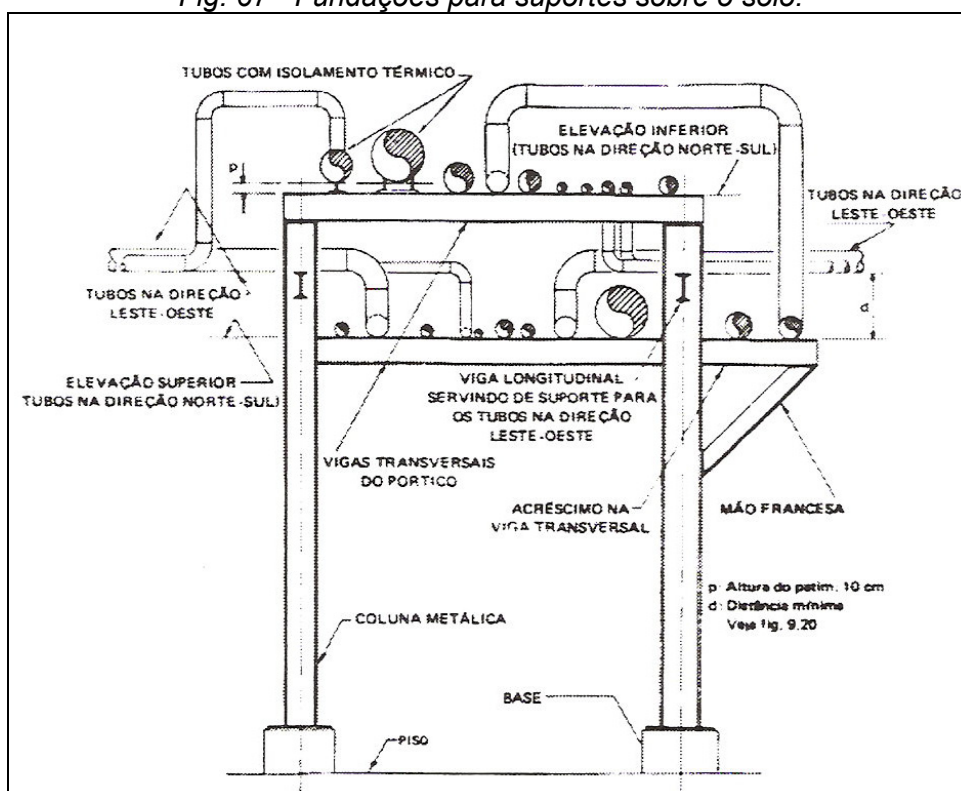



Fig 68 - Estrutura de pórtico para tubos elevados.

Pórtico podem ser de aço, de concreto armado fundido no local, ou de concreto pré-moldado. As estruturas de aço, que são as mais empregadas em instalações industriais, têm como principais vantagens a leveza e esbeltez das peças e a facilidade modificações e de desmontagem. As estruturas de aço não são a prova de fogo, devendo por isso receberem um revestimento especial de concreto (fire-prrofing) nos lugares em que forem necessárias estruturas a prova de fogo. Quando se empregam estruturas de concreto ou estruturas de aço com revestimento de concreto deve-se tornar cuidado para evitar o contato direto das tubulações quentes que causaria o fendilhamento do concreto. Entre os tubos quentes e o concreto devem haver patins de aço de dimensões suficientes para dissipar eficientemente o calor.

As estruturas de pórtico freqüentemente são construídas para receber vários grupos de tubos paralelos em elevações diferentes.

A Fig. 68 mostra uma dessas estruturas, onde se vê claramente os tubos perpendiculares ao plano da figura passando em uma elevação mais baixa, e os tubos no plano da figura passando em uma elevação mais alta. Para diminuir a altura da estrutura, as diferenças de elevação entre as tubulações devem ser as menores possíveis, observando-se o que está recomendado na Fig 40, do Sub-título "Fixação de cotas de elevação do tubulações de equipamentos". As estruturas de pórtico costumam ser ligadas umas as outras por vigas longitudinais, paralelas aos tubos, e por pegas diagonais de contravento. Essas vigas longitudinais têm as seguintes finalidades:

- Absorver os esforços horizontais axias das tubulações (reações de atrito e de dilatações etc.).
- Suportar tubulações na direção perpendicular as tubulações principais.
- Suportar os suportes transversais intermediários para os tubos de pequeno diâmetro que não podem vencer o vão entre as pórticos.

Para o suporte de grupos de tubos paralelos finos e leves, correndo em posição elevada, empregam-se estruturas especiais de treliça tipo ponte, que podem vencer grandes vãos livres.

Para o suporte de um único tubo ou mesmo para um grupo de tubos paralelos que não seja muito pesado deve-se, por motivo de economia, fazer tanto quanto possível o aproveitamento de edifícios, vasos e outras estruturas existentes, ainda que isso obrigue a um trajeto maior para a tubulação. No aproveitamento de qualquer estrutura existente deve ser sempre observado o seguinte:

1. Verificar se os esforços atuantes estão compatíveis com a estrutura em questão.

2. Descarregar os pesos nos blocos de fundação, nas colunas ou nas vigas próximo as colunas para diminuir os momentos fletores.

3. Evitar torções e flexões-laterais nas vigas. Evitar também flexões ou compressões em peças finas ou de contravento.

4. Evitar tanto quanto possível, a transmissão de vibrações e de calor a estrutura.

Qualquer que seja a estrutura empregada para a sustentação de tubulações é muito importante que a estrutura tenha rigidez e imobilidade suficiente para não apresentar flechas sensíveis, por efeito dos esforços transmitidos pelos tubos. Se houver uma flecha sensível em qualquer suporte, o tubo acompanhará o movimento, o que poderá causar vazamentos em flanges, roscas etc., e principalmente ocasionar tensões não admissíveis no próprio tubo, que foi calculado supondo todos os suportes absolutamente imóveis, como está explicado no Cap. 4 do livro "Tubulações Industriais - Cálculo", do mesmo autor.

O cálculo e o dimensionamento das estruturas e fundações de sustentação de tubulações foge do âmbito deste livro. Entretanto, qualquer projeto de tubulações não estará completo sem o cálculo de todas as cargas e reações exercidas pelos tubos sobre todos os suportes e pontos de fixação, isto é, o cálculo de todos os esforços a que as estruturas e fundações terão de resistir. Esses cálculos estão nos Caps. 4 e 6 do livro acima citado.

24 ALINHAMENTO DO TUBO

Uma das mais importantes tarefas de um encanador é o alinhamento adequado. Se feito corretamente, a soldagem será muito mais fácil e o sistema de tubulação será facilmente executado. Se o alinhamento não for apropriado, entretanto, a soldagem será difícil e o sistema de tubulação pode não funcionar adequadamente.

Muitos modelos são úteis para ajudar o alinhamento. O tubo Turns fabrica três tipos de anéis de solda os quais não somente fazem o alinhamento mais fácil como fornecem uma abertura correta para a soldagem.

Há variações nos métodos de alinhamento nas indústrias em geral os quais se adaptam a cada tipo de encanador.

Os procedimentos sugeridos por este Centro de Treinamento são populares entre muitos profissionais e irá rapidamente capacitá-los a obter um bom alinhamento.

TUBO A TUBO: mova os tubos juntos, em toda sua extensão até que os seus chanfros estejam quase encostados, deixando e de 1/8" para a solda. Centralize os esquadros no topo de ambos os tubos e mova-os para cima e para baixo até que os esquadros estejam alinhados. Ponteie no topo e no fundo (em cima e em baixo). Repita o procedimento colocando os esquadros no aço do tubo. Corrija o alinhamento movendo o tubo à direita e à esquerda. Ponteie em cada lado.

Concluída esta fase o tubo-a-tubo está pronto para ser soldado.

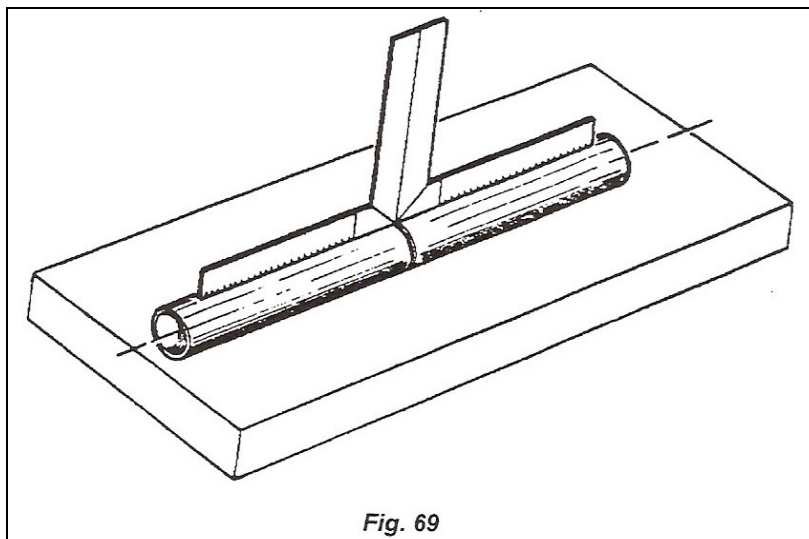



Fig. 69

NOTA: Todas as uniões soldadas deverão estar distanciadas uma peça da outra variando conforme diâmetro e espessura do tubo.

JUNTA “T” AO TUBO: junte os chanfrados deixando lugar para a solda. Ponteie no topo. Centralize o esquadro no tupo do tubo. Coloque o segundo esquadro no centro de saída lateral “T”. Mova a junta “T” até os esquadros estarem alinhados.

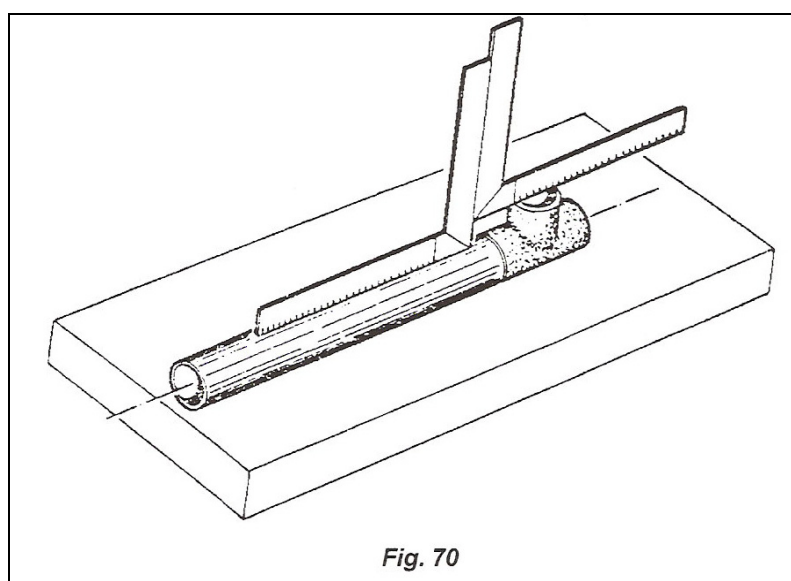



Fig. 70

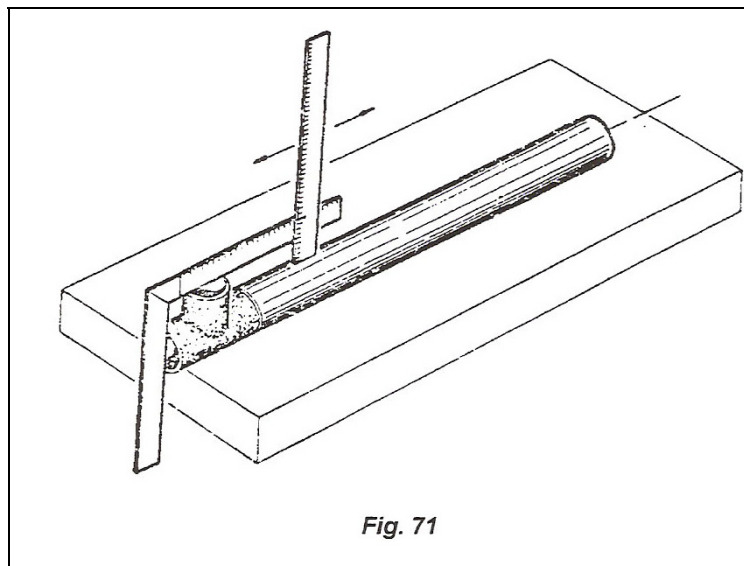



Fig. 71

MÉTODO ALTERNADO: siga o mesmo procedimento para encostar o tubo a junta "T". Coloque o esquadro sobre a junta "T" como ilustrado. Centralize a régua no topo do tubo. A lamina do esquadro deverá estar paralela ao tubo. Confira medindo com a régua em diversos pontos do tubo.

FLANGE AO TUBO: trace os dois centros do Flange entre os furos; coloque o Flange junto ao tubo ponteando, colocando um esquadro no centro do Flange, sendo que os dois esquadros fiquem no mesmo alinhamento.

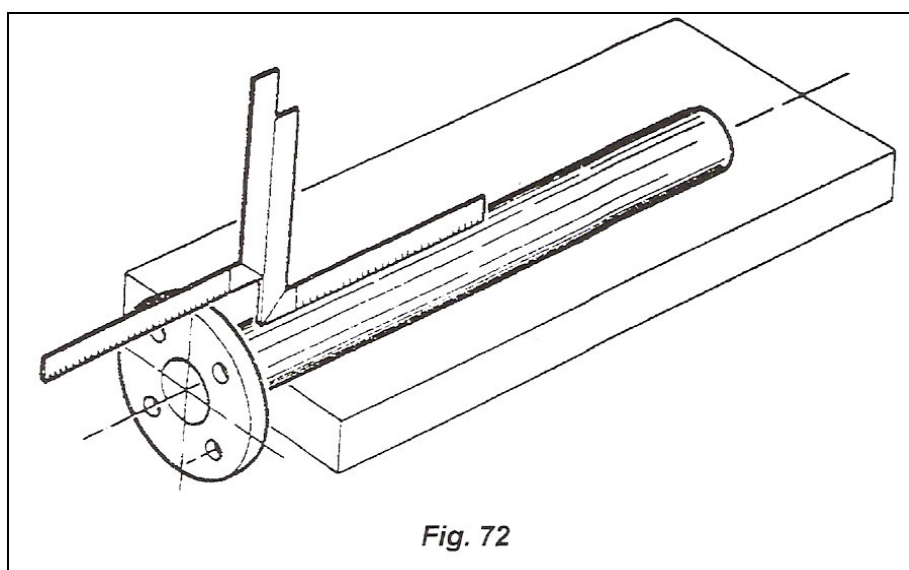



Fig. 72

FLANGE A CURVA DE 90°: trace os dois centros do Flange entre os furos, coloque o Flange junto a curva, colocando um esquadro no centro do tubo, e outro no centro do flange, sendo que os dois esquadros fiquem no mesmo alinhamento.

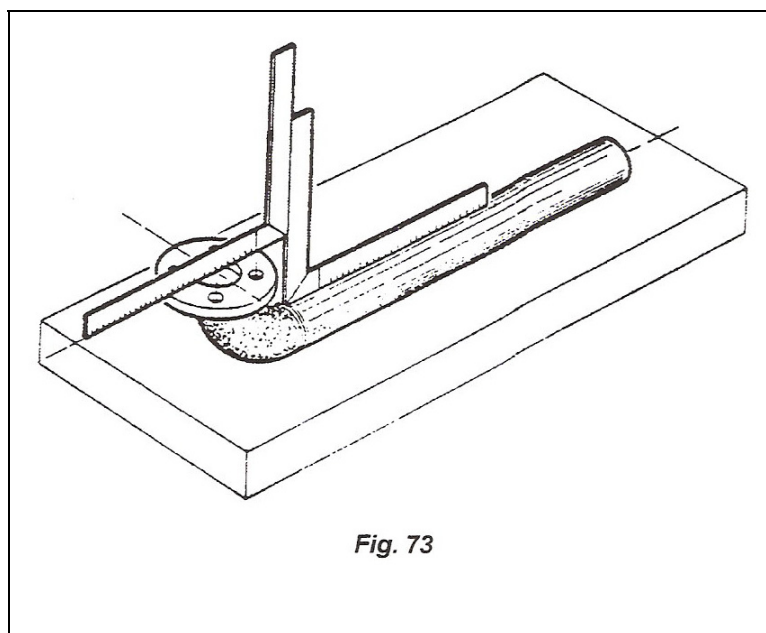
Fig. 73

CURVA DE 90° À TUBO: coloque o chanfro da curva em linha com o chanfro do tubo, deixando o espaço de 1/8” para a solda. Ponteie a solda no topo. Centralize o esquadro no topo do tubo. Centralize o segundo esquadro na face alternada da curva. Mova a curva até que os esquadros estejam alinhados.

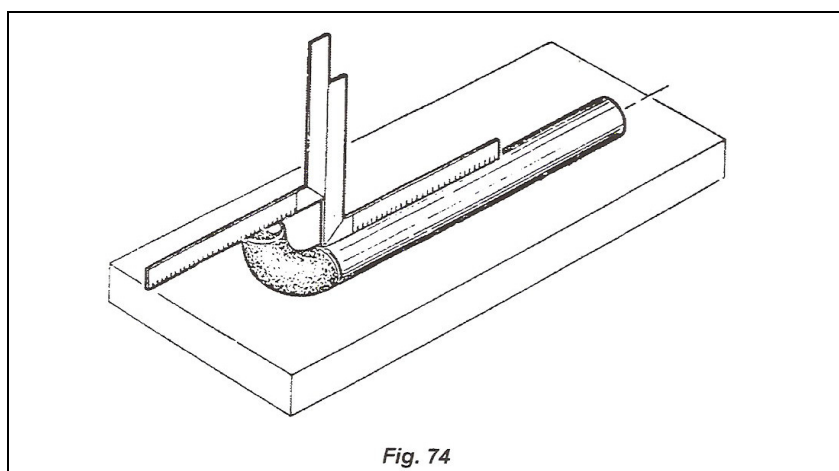
Fig. 74

CURVA DE 45° À TUBO: coloque o chanfro da curva em linha com o chanfro do tubo, deixando o espaço de 1/8” para a solda. Ponteie a solda no topo. Centralize o esquadro no topo do tubo. Coloque o segundo esquadro na face inclinada (45°) da curva (os esquadros vão se cruzar). Para obter um ângulo correto de 45°, as distancias A e B no esquadro de 45° têm que ser iguais (ver ilustração). Uma vez conseguido isto, ponteie o topo e fundo. Repita o procedimento colocando os esquadros no lado do tubo.

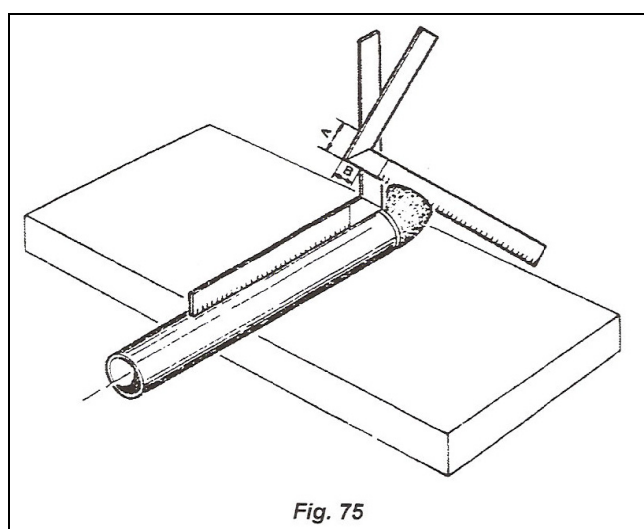
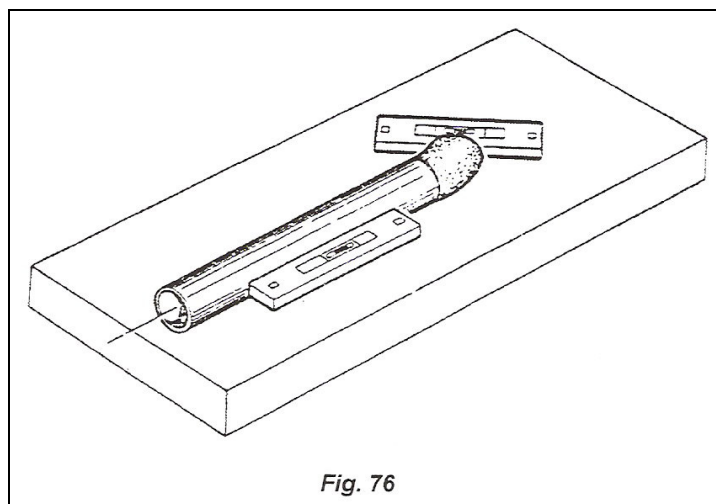
Fig. 75

MÉTODO ALTERNADO: use o mesmo procedimento para encostar o tubo e a curva. Centre o nível no tubo. Depois, centralize o nível de 45° na face da curva e mova a mesma até que a bolha do nível de 45° esteja centralizada.

Fig. 76

25 FLUXOGRAMAS

Os fluxogramas são desenhos esquemáticos, sem escala, que mostra toda rede de tubulação de uma determinada área e os diversos vasos, bombas e outros equipamentos aos quais a rede esta ligada. Os fluxogramas têm apenas a finalidade de mostrar o funcionamento de um sistema, não se destinando a nenhum efeito de fabricação, construção ou montagem. Costumam ser feitos dois tipos gerais de fluxogramas:

1. Fluxogramas de processo (process flow-sheet) Os fluxogramas de processo são desenhos preparados pela equipe de processo na fase inicial de um projeto. Nesses desenhos deve estar figurado o seguinte:

– Equipamentos de caldeiraria importantes (tanques, torres, vasos, reatores, fornos, permutadores de calor etc.), com indicadores das características básicas, tais como tipo, dimensões gerais, pressão e temperatura operação, número de bandejas, carga térmica etc.

– Máquinas importantes (bombas, compressores, ejetores etc.), com indicação das características básicas, tais como vazão, pressão e temperatura de operação etc.

– Tubulações principais, com indicação do fluido contido e do sentido do fluxo.

– Principais válvulas de bloqueio, regulagem, controle, segurança e alívio (indicadas por suas convenções).

– Instrumentos principais indicados por suas convenções.

Em principio, o que deve ser mostrado nesses fluxogramas são os elementos (equipamentos, máquinas, tubulações, instrumentos etc.), que façam parte, ou que sejam essenciais, aos circuitos principais do processo. A quantidade e a extensão das informações contidas nesses desenhos variam muito de acordo com a prática dos projetistas e a finalidade específica do fluxograma. É comum esses desenhos mostrarem, para cada tubulação e cada equipamento, os respectivos valores da

pressão a da temperatura de operação, bem como as vazões das tubulações e os balanços de massa e de energia da instalação.

2. Fluxogramas mecânicos ou de detalhamento (engineering flow-sheets) - Esses desenhos são também preparados pela equipe de processo, em fase mais adiantada do projeto com a colaboração da equipe de projeto mecânico. São os desenhos básicos a partir dos quais será feito todo o desenvolvimento do projeto de tubulações.

a) Todos os equipamentos de caldeiraria com sua identificação e características básicas inclusive os equipamentos pequenos e simples (filtros, separadores etc.), desde que tenham alguma função no sistema.
b) Todas as máquinas com sua identificação e características básicas ainda que sejam, pequenas e simples.

Todos esses elementos devem ser mostrados individualmente um por um, por meio de sua identificação e de convenções de desenhos mesmo quando forem equipamentos de reserva, ou vários iguais entre si. É necessário que seja indicada também qualquer exigência de serviço que haja com relação a localização dos equipamentos, como por exemplo: equipamentos que devam ficar em elevações diferentes (com indicação da diferença de elevação requerida) etc.

c) Todas as tubulações, inclusive secundárias e auxiliares, com indicação do diâmetro, sentido de fluxo identificação completa, bem como condições ou exigências especiais de serviço, se houverem; entre essas condições e exigências mais freqüentes podemos citar:

- Tubulações com declividade constante.
- Tubulações com fluxo por gravidade ou por termossifão.
- Tubulações com pontos altos ou sem pontos baixos.

– Tubulações com traçado retilíneo obrigatório.

– Tubulações com mínimo de perdas de carga.

– Tubulações com arranjos simétricos ou com arranjos não usuais obrigatórios.

– Tubulações para fluidos com duas fases presentes.

– Tubulações sujeitas a vibrações ou a ruídos.

Para as tubulações que tiverem fluxo por gravidade ou por termossifão deve ser indicada a diferença de elevações necessária entre os pontos extremos.

d) Todas as válvulas colocadas nas respectivas linhas e com indicação do tipo geral (bloqueio, regulagem, controle, segurança etc.) por meio de convenções. Devem constar também no fluxograma todos os acessórios especiais (purgadores de vapor, filtros, raquetas, figuras "8" etc.) que sejam necessários por motivo de processo.
e) Todos os instrumentos (geralmente de acordo com as convenções do I.S.A.) com indicação de tipo, identificação, tamanho, arranjos respectivos de válvulas tubo de contorno etc., inclusive flanges de orifício. Devem também figurar as linhas de ar comprimido de comando das válvulas de controle com as respectivas ligações.

Muitos projetistas fazem ainda um terceiro tipo de fluxograma, denominado de “Fluxograma de tubulação e instrumentação" (piping & instrumentation flow-sheet - P&I flow-sheet) que e intermediário no entre os dois tipos que acabamos de ver. Nestes fluxogramas devem aparecer todos os elementos existentes na instalação (vasos, equipamentos, tubulações, instrumentos etc.), como descritos para os fluxogramas mecânicos, não contendo, entretanto nem o diâmetro dos tubos nem as siglas de identificação de todos os elementos.

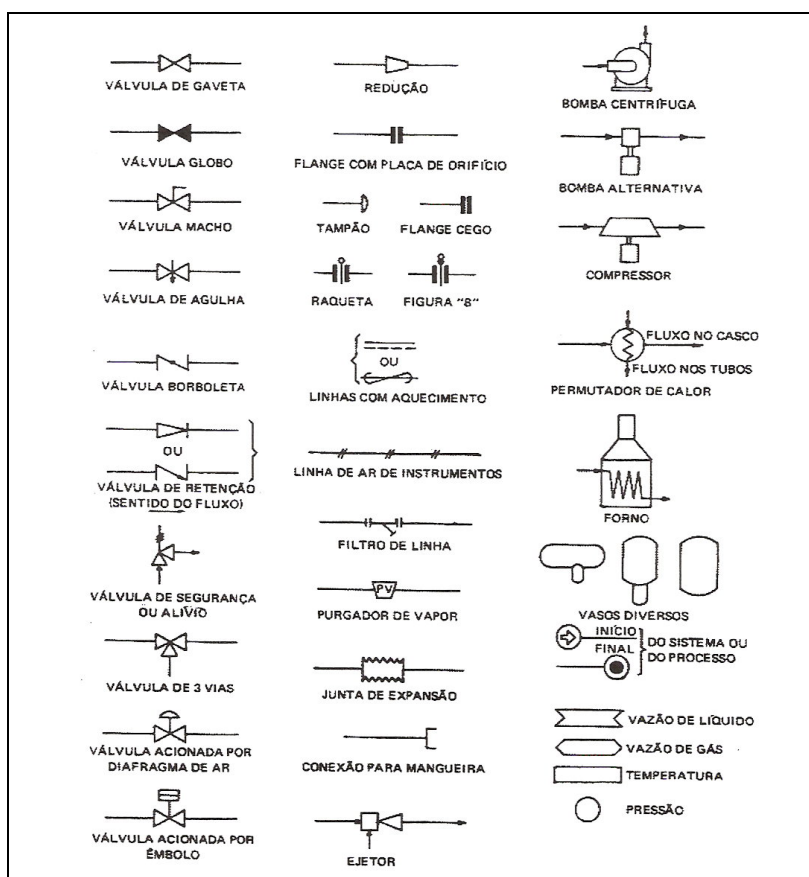



Fig. 77 - Convenções de fluxograma.

Com relação aos vasos e equipamentos, as características que devem aparecer nos fluxogramas são apenas as que interessam ao processo. Na maioria dos casos, por exemplo, para um tanque, figurará apenas o volume para uma torre deverão constar diâmetro, a altura, numero de bandejas e a posição dos bocais, para uma bomba teremos a vazão e a altura manométrica e, assim por diante.

Para todos os tipos usuais de vasos equipamentos, válvulas, instrumentos etc., existem convenções de desenho que devem ser sempre obedecidas; a Fig. 77 mostra alguma dessas convenções.

Nas plantas de tubulação devem figurar as elevações de todos Os tubos (geralmente elevações de fundo, a menos que seja indicado em contrário), as distancias entre Os tubos paralelos e todas as cotas dos pontos de mudanças de direção dos tubos.

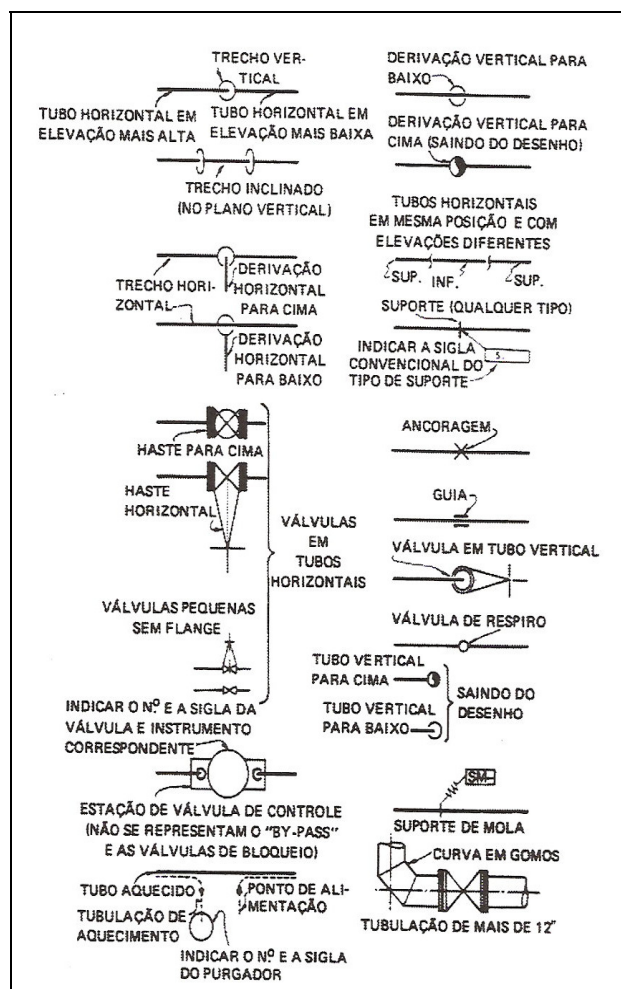



Fig 78 - Convenções de plantas.

Além de todos os tubos com suas válvulas e acessórios, esses desenhos devem também mostrar o seguinte.

- Linhas principais de referência (com suas coordenadas) tais como: limites de áreas, limites dos desenhos, linhas de centro de ruas, contornos de ruas, valas de drenagem, diques, edifícios e demais construções, bases de concreto etc.

– Todos os suportes de tubulação, com numeração, indicação convencional do tipo, posição e elevação cotadas, inclusive as colunas das estruturas de apoio de tubos elevados, indicadas por sua numeração.

– Todos os vasos, equipamentos e máquinas ligados à rede de tubulações, com desenho do seu contorno, com identificação, e com posição e elevação cotadas da linha de centro e dos bocais de onde são conectadas as tubulações.

– Plataformas e escadas de acesso, com posição, dimensões, e elevação cotadas.

– Todos os instrumentos, com identificação, indicação convencional e posição aproximada. Os conjuntos constituídos pelas válvulas de controle e respectivas tubulações de contorno e válvulas de bloqueio e de regulagem (como o exemplo da Fig. 44) são representados nas plantas simplesmente por um pequeno retângulo com a identificação da válvula de controle, de acordo com as siglas I.S.A.

A Fig. 79 é um trecho de uma planta de tubulação mostrando o emprego da maioria das convenções da Fig 78 e também as diversas informações, acima relacionadas, que devem constar nas plantas.

As diversas folhas de plantas de tubulação devem limitar-se entre si formando um mosaico continuo cobrindo toda área abrangida pela rede de tubulações. Os limites das folhas devem ser os mesmos das plantas de locação geral, entretanto, com as plantas de tubulação costumam ser feitas em escala maior, a cada planta de locação geral correspondem varias folhas de plantas de tubulação. No exemplo das Figs. 77 cada folha de planta de tubulação é a quarta parte da área abrangida pela planta de locação geral. Os limites dos desenhos são em geral os limites do terreno, linhas de centro de ruas e diques, limites de áreas de processamento, armazenagem e manuseio etc. Dentro das áreas de processamento, Os limites entre as folhas costumam ser as linhas das fileiras de colunas de suporte das tubulações, como o limite mostrado entre as Fig. 77(a) e 77(b).

Em todas as folhas de desenho deve haver sempre indicação da orientação (Norte de projeto); nos limites de cada folha deve haver, também, a indicação das coordenadas e dos números das outras folhas de desenho que sejam continuação para qualquer lado.

Em áreas congestionadas em que se tenham muitos tubos em mais de uma elevação, fazem-se, para maior clareza, tantos desenhos da mesma área quantos forem necessários, mostrando cada um as tubulações que correm entre dois pianos horizontais. Suponhamos que para uma certa área sejam feitos três desenhos: um designado como sendo "nível do solo" outro designado como na "elevação 4m" e outro na "elevação 8m". O desenho do nível do solo mostrará todas as tubulações desde a elevação 4m até o nível do solo, olhando-se de cima para baixo.

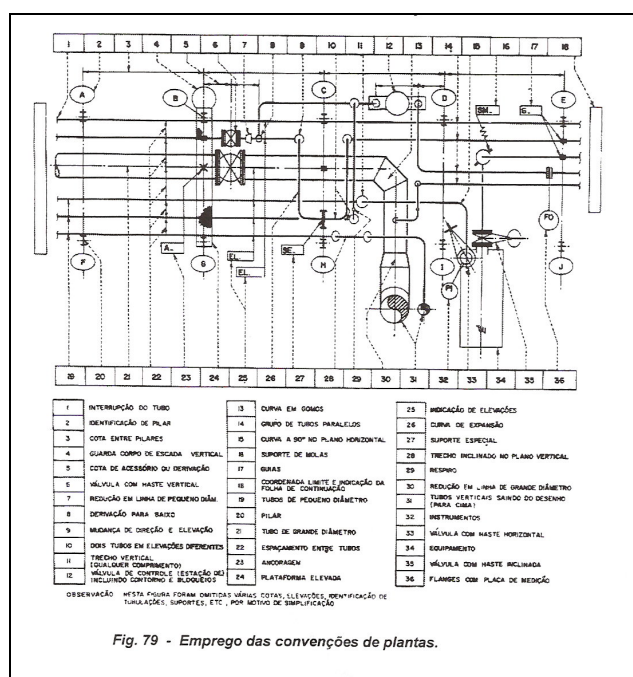



Fig. 79 - Emprego das convenções de plantas.

o desenho na elevação 4m mostrará as tubulações entre as elevações 8m e 4m, olhando-se também de cima para baixo, e o desenho na elevação 8m mostrará as tubulações existentes acima da elevação 8m e assim por diante para qualquer outro caso. Nos exemplos das Fig. 77(a) e 77(c) a área entre as colunas de suporte das

tubulações elevadas (na parte inferior dos desenhos) está repetida em duas elevações, uma designada como "nível do solo" e outra como "elevação 3,50m". Os tubos verticais que passam, do desenho em uma elevação para o desenho em outra elevação, são representados como saindo do desenho, para baixo ou para cima, com as convenções mostradas na Fig. 78.

Em sistemas complexos, quando necessário para maior clareza são feitos também cortes, que são projeções verticais das tubulações. Pode haver também necessidade de se desenhar, em escala maior, detalhes em planta ou em corte de determinados trechos mais congestionados tanto os cortes como os detalhes são também desenhados em escala e com as mesmas indicações e convenções das plantas.

Para facilitar a montagem na margem de cada folha de planta de tubulação, costuma-se colocar uma lista-resumo de todos os suportes que aparecem na referida folha. Essa lista indica, para cada tipo de suporte a respectiva quantidade e o desenho de detalhe de referência.

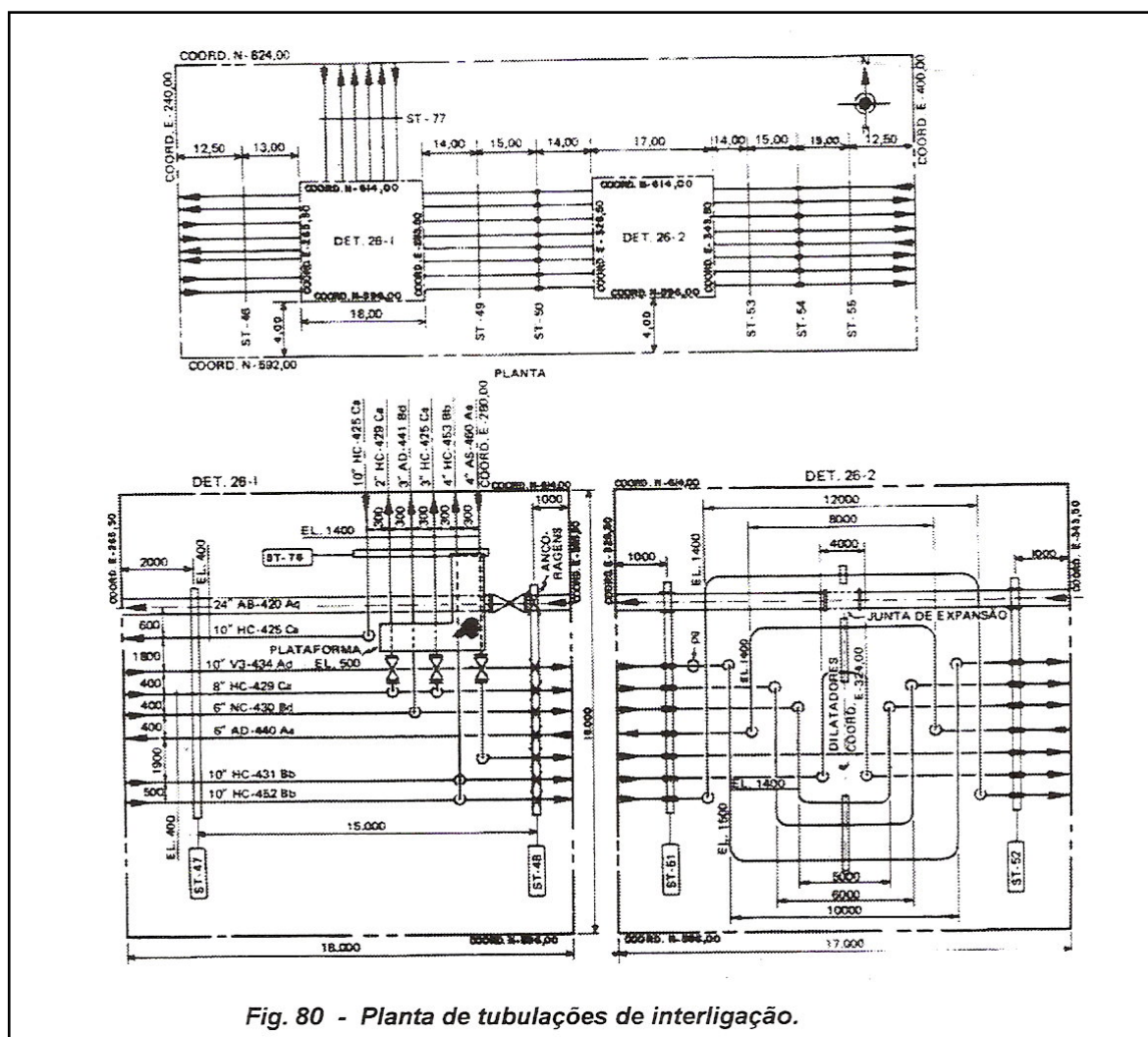



Fig. 80 - Planta de tubulações de interligação.

Em cada folha de planta de tubulação devem figurar ainda, em local conveniente, os números de todos os desenhos de referencia relativos à planta em questão, tais como a planta de locação geral, fluxograma, as demais plantas da mesma área em outras elevações (se houverem), detalhes típicos, detalhes de suportes etc.

26 DESENHOS ISOMÉTRICOS

Os isométricos são desenhos feitos em perspectiva isométrica, sem escala; faz-se geralmente um desenho para cada tubulação individual ou grupo de tubulações próximas. No caso de uma tubulação muito longa pode ser necessário subdividir a

tubulação individual ou grupo de tubulações próximas. No caso de uma tubulação muito longa pode ser necessário subdividir a tubulação por vários desenhos isométricos sucessivos. Nunca se deve figurar em um mesmo desenho isométrico duas tubulações de áreas diferentes.

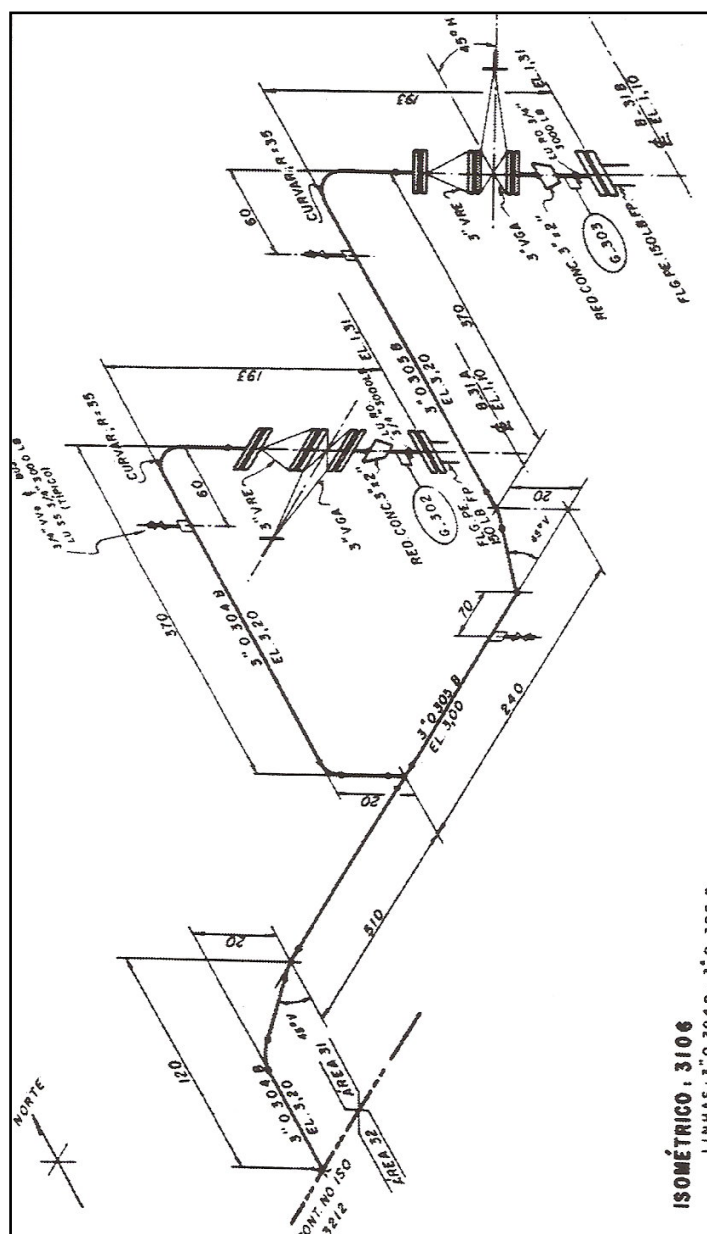



Fig. 81(a)

As Figs. 81(a), (b), (c) são exemplos de desenhos isométricos. Como pode ser observado, a Fig. 81 (a) representa uma das tubulações que aparece na planta da Fig. 77(a); as Figs. 81(b) e (c), representam tubulações que aparecem na planta da Fig. 77(b). Note-se também que a tubulação mostrada no isométrico da Fig. 81(a) é a continuação de uma das tubulações do isométrico da Fig. 81(b).

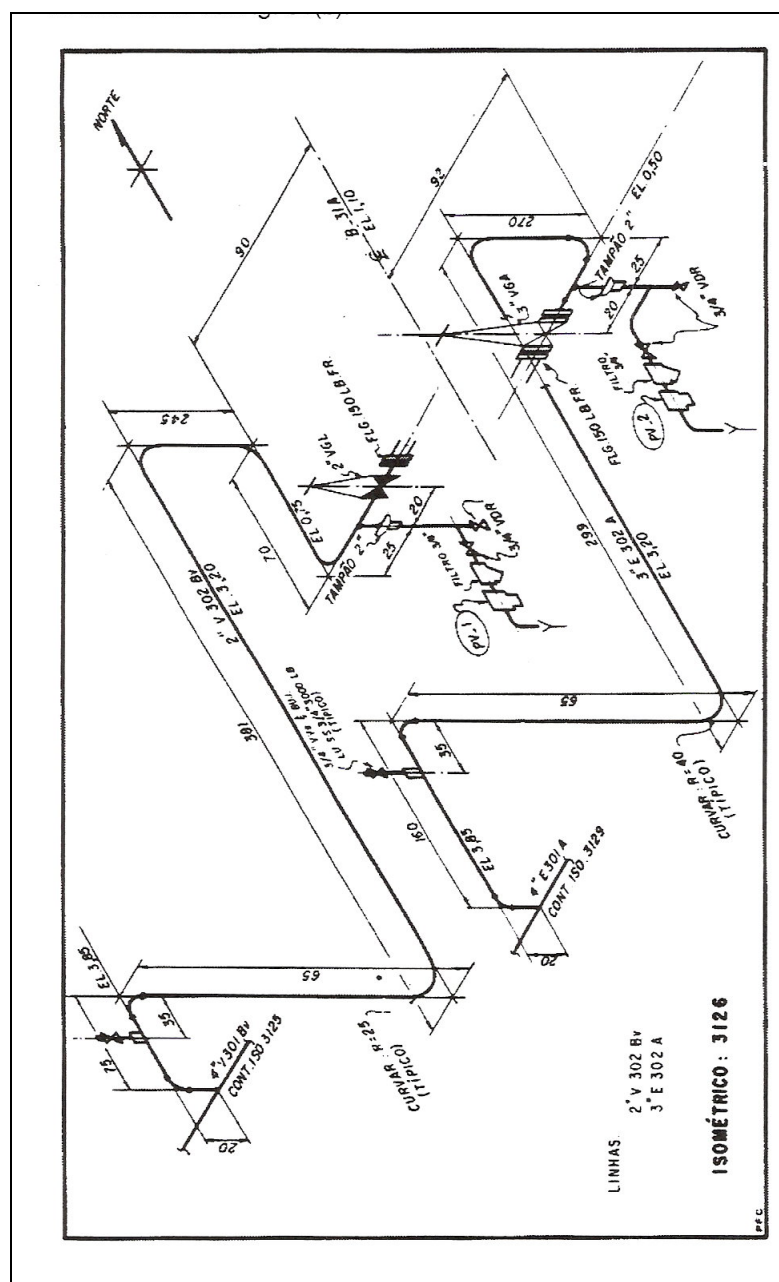



Fig. 81(b)

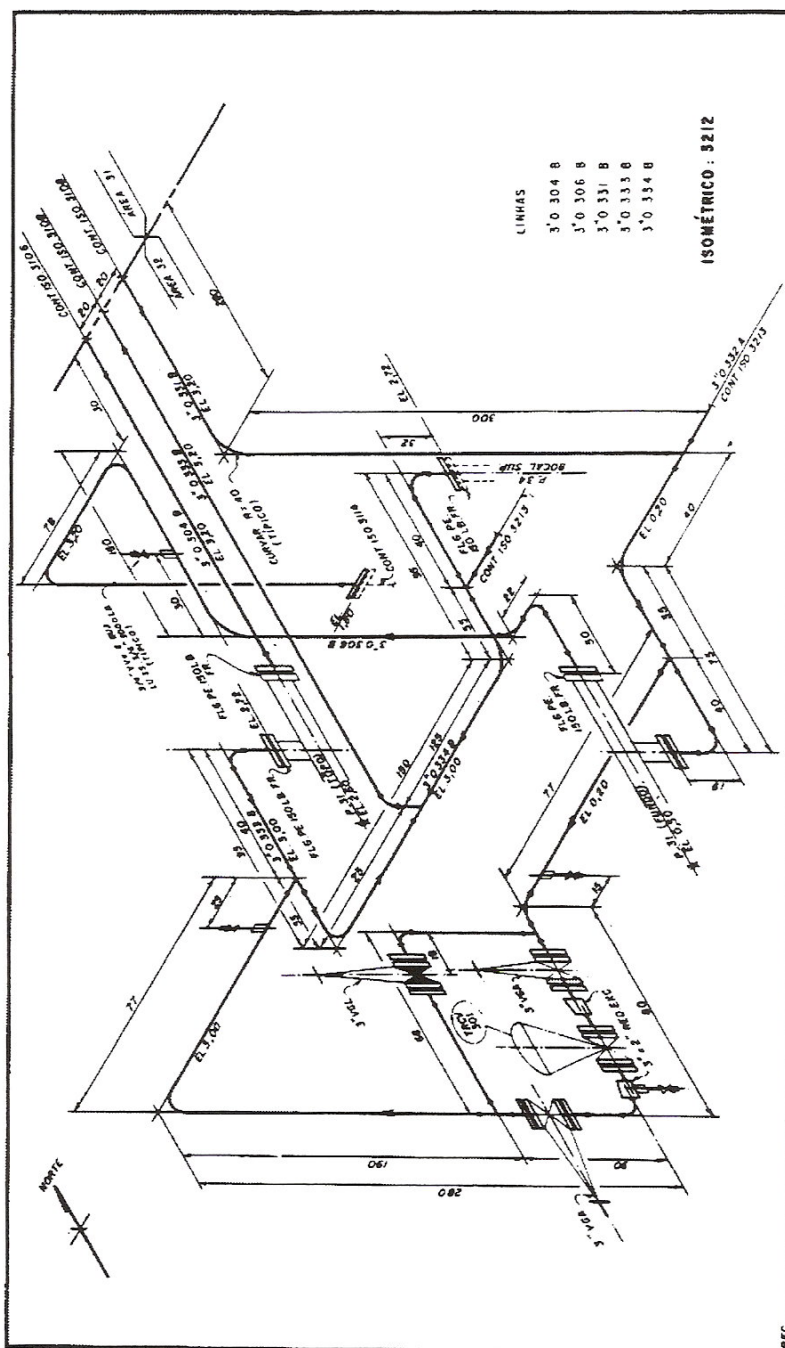



Fig. 81 (c)

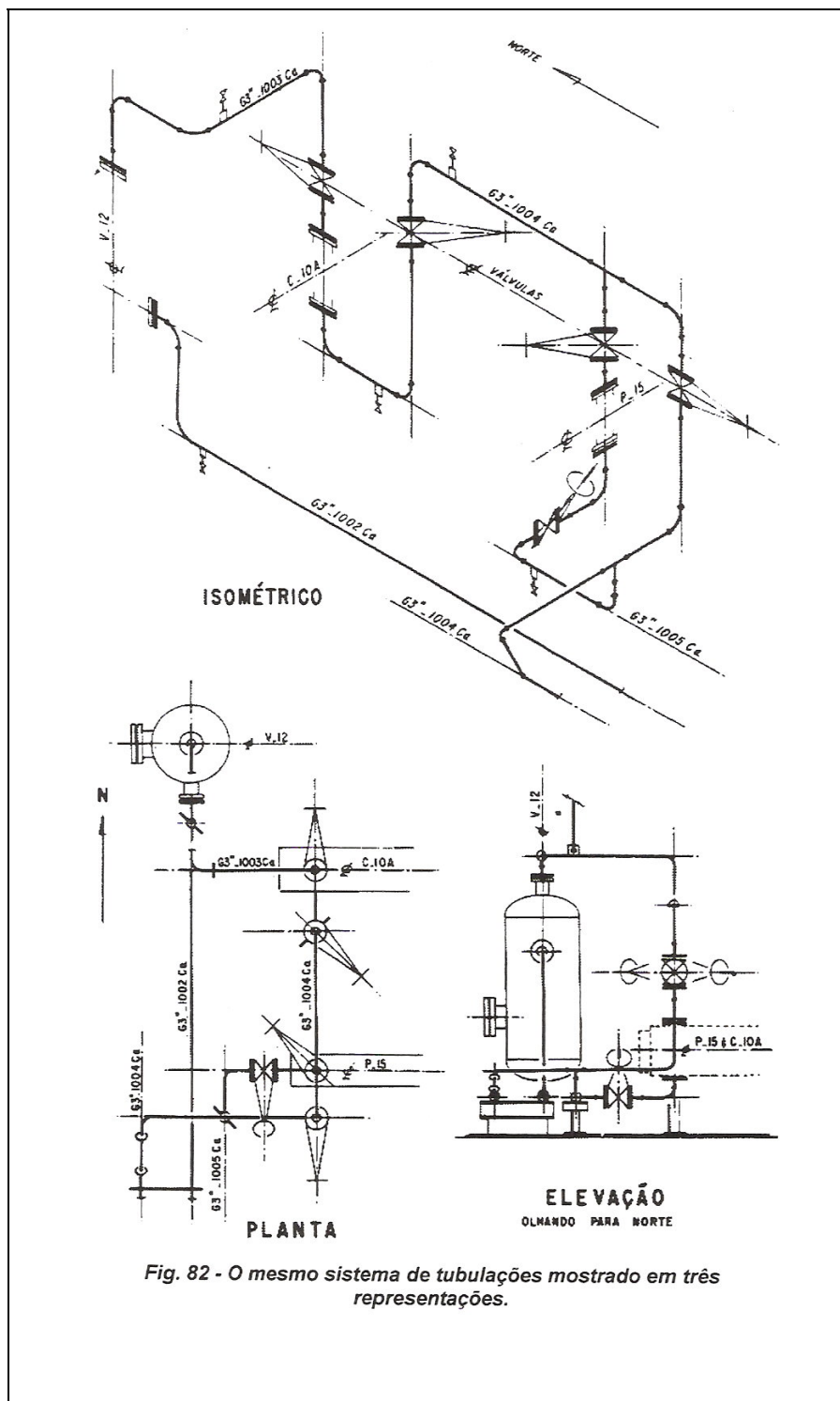



Fig. 82 - O mesmo sistema de tubulações mostrado em três representações.

Para melhor entendimento da representação em isométricos, a Fig.82 mostra o mesmo sistema de tubulação desenhada em planta, em projeção vertical e em isométrico.

Nos desenhos isométricos, os tubos verticais são representados por traços verticais e os tubos horizontais, nas direções ortogonais de projeto, são representados por traços inclinados com ângulo de 30° sobre a horizontal para a direita ou para a esquerda. Os tubos fora de qualquer uma das três direções ortogonais são representados por traços inclinados com ângulos diferentes de 30°, devendo ser indicado no desenho o angulo verdadeiro de inclinação do tubo com uma qualquer das três direções ortogonais de projeto. Para facilitar o entendimento, costuma-se desenhar em traços finos (como linhas de chamada) o paralelograma ou prisma do qual a direção inclinada do tubo seja uma diagonal. Os tubos curvados e as curvas nos tubos são representados por curvas em perspectiva, devendo sempre ser indicado o raio verdadeiro de curvatura da linha de centro do tubo. Todos os tubos, qualquer que seja o diâmetro, são representados por um traço único, na posição da sua linha de centro.

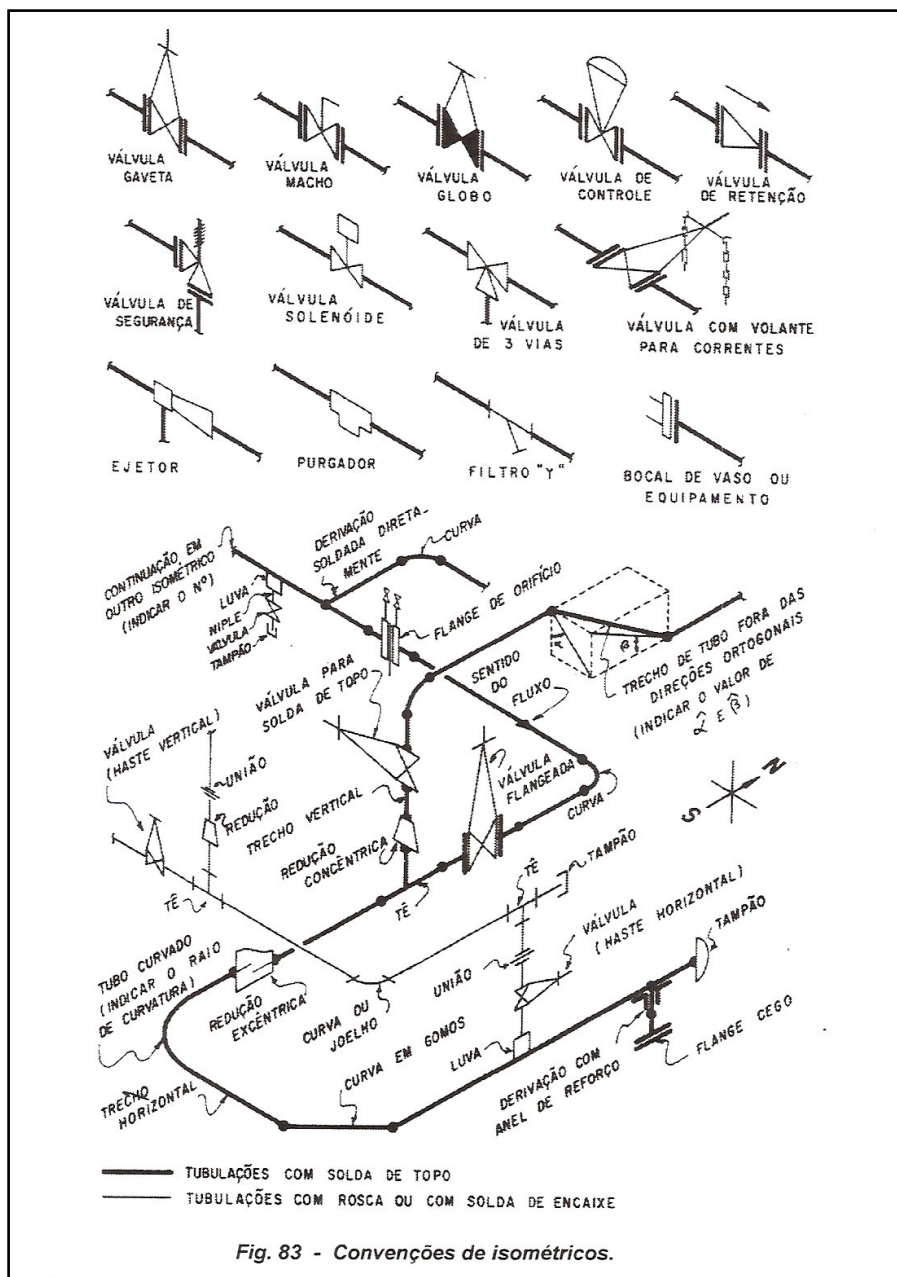
Nos desenhos isométricos devem aparecer obrigatoriamente, todas as válvulas e todos os acessórios de tubulação (flanges, tês, joelhos, reduções, colares, luvas, uniões etc.), mostrados individualmente, um por um, bem como a localização de todas as emendas (soldadas, rosqueadas etc.) dos tubos e dos acessórios. As válvulas são usualmente designadas por siglas convencionais como as exemplificadas 3"VGA, 3"VRE etc., nos isométricos das Figs. 12.7. Os vasos, tanques, bombas, e demais equipamentos C maquinas conectados as tubulações, aparecem indicados apenas pela sua identificação, posição de linha de centro e pelos bocais de ligação com as tubulações.

É por meio dos desenhos isométricos que se faz o levantamento dos materiais necessários para a construção das tubulações e, por essa razão, nesses desenhos devem figurar detalhadamente todos os materiais, um por um, ainda que sejam

pegas pequenas ou pouco importantes, tais como válvulas de dreno e de respiro (com respectivas luvas, nipies e bujões), luvas para instrumentos tomadas para retirada de amostras, etc. Os conjuntos formados pelas válvulas de controle e respectivas tubulações de contorno e válvulas de bloqueio e de regulagem também são mostrados peça por peça como o exemplo da TRCV 301 na Fig 12.7(c). Observa-se também a representação detalhada da inclinação dos purgadores de vapor PV-1 e PV-2 na Fig. 12.7(b).

Os desenhos isométricos devem conter todas as cotas e dimensões necessárias para a fabricação e montagem das tubulações tais como: dimensões dos trechos retos de tubo, ângulos, raios de curvatura, elevações de todos os tubos, localização e orientação de todos os bocais de vasos e equipamentos, posição das hastes e volantes das válvulas etc. As elevações dos tubos, a menos que esteja expressamente indicado em contrario, costumam ser referida a linha de centro dos mesmos.

Qualquer tubo que passe de uma folha de isométrico para outra, é representado como interrompido, devendo haver sempre indicação do número da outra folha de isométrico na qual o mesmo continue, como se pode observar em diversos lugares nas Figs. 81.

Fig. 83 - Convenções de isométricos.

Todos os tubos devem ser designados por sua identificação completa, tal como nas plantas de tubulação.

Os diversos tipos usuais de válvulas e de acessórios, tem convenções especiais de desenho, que devem ser obedecidas, como mostra a Fig 83.

Costuma-se fazer em cada folha de isométrico, a lista do material necessário para as tubulações representadas na mesma. Cada folha de desenho deve ter também a relação das tubulações que figuram na referida folha, com indicação da temperatura e pressão de projeto, pressão de teste hidrostático, e do tipo de isolamento térmico e de sistema de aquecimento, se houverem nos exemplos das Figs. 81 não estão mostradas essas listas.

Em todos os desenhos deve haver sempre a indicação da orientação (Norte de projeto) para se poder obter a localização dos tubos no terreno.

A numeração dos desenhos isométricos deve ser feita em combinação com a numeração das plantas, de maneira que seja fácil identificar-se em que planta esta representada uma linha que aparece em determinado isométrico e vice-versa Por exemplo à planta nº 31 corresponderá à série de isométricos começada pelo nº 3.101; a planta nº 32 corresponderá à série começada pelo nº 3.201, e assim por diante, como mostra os exemplos das Figs 77 e 81.

Geralmente todas as tubulações desenhadas em um isométrico estão contidas em uma mesma planta. Todos Os pontos em que, as tubulações passam de uma folha de planta para outra, devem ser assinalados nos isométricos, com indicação dos números correspondentes das plantas, como também mostra os desenhos das Figs. 81.

É usual fazer-se, para cada planta de tubulação, uma lista resumo contendo os números de todos os isométricos referentes a essa planta e os números das tubulações representadas em cada isométrico.

Não se fazem desenhos isométricos para tubulações subterrâneas, e geralmente também não se fazem para tubulações longas, fora de áreas de processamento, onde a maior parte dos trechos seja reta.

Alguns projetistas costumam acrescentar nos desenhos isométricos Os suportes de tubulação, indicados pelas suas posições cotadas e suas convenções. Embora essa pratica não seja generalizada, a marcação dos suportes nos desenhos isométricos traz evidentes vantagens para a montagem.

Tabela 6

MATERIAIS PARA TUBULAÇÕES PARA VAPOR

	TUBOS				VÁLVULAS	Material			
Temperatura máxima do vapor (ºC)	Diâmetro nominal (pol)	Material Especificações ASTM ou API	Tipo de ligações	Sobre-esp. para corro-são (mm)	Diâme-tro no-minal (pol)	Carcaça	Mec. interno	Tipo de extremidades	Juntas para flanges
120 (inclusive	todos	Aço-carbono A-120 ou A-53	solda	1,2	até 2"	Bronze	Bronze	Rosca	Junta plana de papelão
vapor exausto e condensado)	até 4"	Aço-carbono galvanizado	rosca	—	> 2"	Ferro fundido	Bronze	Flanges (face plana)	
200	todos	Aço-carbono A-53 ou API-5L	solda	1,2	todos	Aço-carbono	Bronze	até 2" solda de encaixe > 2": Flanges (face com ressalto)	hidráulico conforme EB-212
	até 2"	Latão, cobre, alumínio	rosca ou solda	—	até 2"	Bronze	Bronze		
380	todos	Aço-carbono A-53 API-5L ou A-672 Gr A-55	solda	1,2	todos	Aço-carbono	Aço-inoxidável tipo 410	rosca até 2": solda de encaixe	Junta semimetálica em espira de aço inoxidável, com recheio de amianto
420	todos	Aço-carbono acalmado (Si)-A-106 ou A-672 Gr B-60,70 ou Gr C-60,70	solda	1,2	todos	Aço-liga	Aço-inoxidável tipo 410		
450	todos					½ Mo	(sedes de "Stellite")		
470	todos								
480	todos								
550	todos								

27 EXERCÍCIO DE FIXAÇÃO DE TUBULAÇÃO INDUSTRIAL

1. Enumere a segunda coluna de acordo com a primeira:

1. Materiais plásticos	( ) zinco
2. Tubos de aço com revestimento interno	( ) alumínio
3. Tubos metálicos ferrosos	( ) polietileno
4. Tubos metálicos não ferrosos	( ) aço carbono

a) 2-1-3-4

b) 2-1-4-3

c) 1-2-3-4

d) 4-2-1-3

2. “ É usado para água doce, vapor de baixa pressão, condensado, ar comprimido, óleos, gases e muito outros fluidos pouco corrosivos, em temperatura desde – 45°C, e a qualquer pressão”. Que tubulação é essa?

a) Tubulação não metálica de vidro

b) Tubulação não metálica de materiais plásticos

c) Tubulação metálica não ferrosa de cobre

d) Tubulação metálica ferrosa de aço carbono

3. o nome do ensaio para verificar a dureza dos tubos de aço carbono é:

a) Rockell

b) Vickers

c) Charpy

d) Shore

4. Especifica a aplicação de tubos sem costura de 1/8 até 24. que norma é essa?

a) ASTM-A-106

b) ASTM-A-53

c) ASTM-A-120

d) API-SL

5. A norma AISI, denominou um tubo com classificação 316L, a sua estrutura metalográfica é:

a) Martensitica

b) Ferritica

c) Austenitica

d) Grafita

6. A norma que regulamenta o uso das séries SCHEDULE NUMBER é:

a) ANSI B.36.10

b) ANSI B.36.10

c) ASTM-A-312

d) ASTM –A-134

7. Os tubos de ferro fundido, e ferro forjado, são testados para pressões até que:

a) 3000kg / cm²

b) 30kg / cm²

c) 3,0 kg / cm²

d) 30000 kg / cm²

8. São chamados de manilhas, tem excelente resistência a corrosão, sendo inertes em relação ao solo, a atmosfera e a maioria dos fluidos corrosivos. O nome do tubo é:

a) Tubo de barro vibrado

b) Tubo de concreto armado

c) Tubo de cobre

d) Tubo de latão

9. Enumere a segunda coluna de acordo com a primeira:

1. É um material termoestável de muito uso para tubos de grande diâmetro, até 900mm
2. É o mais leve e o mais barato dos materiais termoestáveis, tendo excelente resistências aos ácidos minerais, aos álcalis e aos sais.
3. São materiais termoplásticos de qualidade semelhante aos de PVC
4. É um termoplástico de maior uso industrial

( ) PVC

( ) ABS

( ) Polietileno

( ) Epóxi

a) 1-3-4-2

b) 1-2-3-4

c) 4-3-1-2

d) 4-3-2-1

10. O tipo de flange para ser usado em tubulações industriais para qualquer tipo de pressão e temperatura para diâmetro de 1 ½" ou mais é:

a) flange de encaixa

b) flange rosqueado

c) flange de pescoço

d) flange integral

11. Enumere a segunda coluna de acordo com a primeira:

1. Flanges usados para serviços especiais com furos corrosivos
2. Flanges de aço utilizados para serviços severos, de altas pressões e temperaturas.
3. É o tipo de flange de aço de face mais comum, aplicável a quaisquer condições de pressão e temperatura.
4. É utilizado nos flanges de ferro fundido e de outros materiais como plástico por exemplo.

(   ) flange de face com ressalto

(   ) flange de face plana

(   ) flange de face para junta de anel

(   ) flange de face macho e fêmea

a) 3-2-4-1

b) 3-4-2-1

c) 2-3-4-1

d) 4-3-2-1

12. Identifique os tipos de juntas de acordo com a norma ABNT

1. junta de amianto com armação metálica inserida
2. junta de amianto com composto especial de borracha para vapor
3. junta de amianto com composto de borracha para água
4. junta de amianto com composto resistente a água

(   ) ABNT EB-212

(   ) ABNT EB-827

(   ) ABNT EB-313

(   ) ABNT EB-216

a) 2-1-4-3

b) 1-2-3-4

c) 2-4-1-3

d) 4-1-2-3

13. Identifique os conhecimentos corretos para vedação

a) tubos e ferro fundido; anéis retentores, borracha e chumbo derretido.

b) tubos de barro vidrados; argamassa de barro.

c) tubos de concreto, argamassa de barro em anéis de borracha.

d) tubos de barro vidrado, argamassa de cimento e chumbo derretido.

14. Utilizam-se pressões para ligações de ponta e bolsa para líquido e gases que são:

a) líquido 30 kg/cm^2; gases até 10 kg/cm^2

b) líquido 30 kg/cm^2; gases até 1,0 kg/cm^2

c) líquido 15 kg/cm^2; gases até 1,0 kg/cm^2

d) líquido 15 kg/cm^2; gases até 10 kg/cm^2

15. Enumere a segunda coluna de acordo com a primeira sobre as cores das tubulações:

1. Água do mar	( ) amarelo/ marrom/ amarelo
2. Vácuo	( ) cinza/ preto/ cinza
3. Argônio	( ) amarelo/ branco/ amarelo
4. Gás de alto forno	( ) cinza
5. Querosene	( ) verde/ preto/ verde

a) 2-5-3-4-1

b) 5-3-2-4-1

c) 3-5-2-4-1

d) 3-5-4-2-1

16. No Brasil a norma que regulamenta a fabricação de flanges de aço forjado é:

a) ANSI B 16-25

b) ANSI B 16-5

c) ANSI B 16-1

d) ANSI B 31

17. A fundação das juntas telescopia é:

a) absorver movimentos radiais da tubulação

b) absorver movimento axial e radial da tubulação

c) absorver movimento axial da tubulação

d) absorver movimento vertical da tubulação

18. Utilizam-se juntas e tubulações quando:

a) Em tubulações de vapor de baixa pressão, água quente em locais congestionados

b) Em tubulações de vapor de alta pressão, água fria em locais congestionados

c) Em tubulações de vapor de baixa pressão, água quente em locais de fácil acesso

d) em tubulações de baixa pressão, água fria e em locais de fácil acesso

19. Identifique as aplicações das juntas de expansão do fole abaixo:

1. Quando o movimento da tubulação for apenas angular
2. As juntas são usadas apenas para serviços severos
3. As juntas são usadas para absorver movimentos axiais, angulares ou pequenos movimentos laterais
4. As juntas são usadas para serviços severos com pressões altas ou quando se exigem maiores condições de segurança
5. As juntas são usadas para absorção de movimentos axiais e laterais combinadas ou para grandes movimentos laterais

( ) junta com anéis

( ) juntas duplas

( ) junta simples

( ) juntas articuladas

( ) junta com anéis de equalização

a) 1-5-3-2-4

b) 2-5-3-1-4

c) 5-3-2-1-4

d)3-5-2-1-4

20. Usam-se juntas de fole em que tipo de tubulação:

a) tubulações quentes de diâmetro abaixo de 20
b) tubulações quentes de diâmetro acima de 20
c) tubulações frias de diâmetro acima de 20
d) tubulações frias de diâmetro abaixo de 20

21. Coloque V para sentença VERDADEIRA e F para sentença FALSA para o emprego de purgadores.

( ) Para eliminação do condensado formado nas tubulações de vapor em geral para drenagem de tubulação de vapor
( ) Todos os pontos altos e todos os pontos de aumento de elevação devem ser colocados purgadores
( ) Nos trechos de tubulação em nível, deve ser colocado um purgador em cada 100m a 250m
( ) Todos os pontos extremos, no sentido inverso do fluxo fechado com tampões devem ser colocados purgadores
( ) Os purgadores tem a finalidade de reter o vapor em aparelhos de aquecimento e devem ser intercalados na própria tubulação de vapor e colocados o mais próximo possível da saída do aparelho

a) V-V-V-F-F
b) F-F-V-V-V
c) V-F-V-F-V
d)V-V-F-F-V

22. Coloque V para sentença VERDADEIRA e F para sentença FALSA para emprego de purgadores:

( ) Os purgadores devem ter preferência de ser colocados acima da cota geratriz inferior do tubo a drenar

( ) É recomendável a colocação de um filtro imediatamente antes de cada purgador

( ) A descarga livre, isto é, o condensado é lançado para fora do purgador

( ) Quando o purgador tiver descarga livre, não é necessário colocar uma válvula de bloqueio antes do purgador

( ) Os purgadores devem sempre ser instalados em locais de fácil acesso para a inspeção e manutenção

a) V-V-F-F-F

b) F-F-F-V-V

c) F-F-V-F-F

d) F-V-F-F-V

23. Enumere a Segunda coluna de acordo com a primeira:

1. purgadores de panela aberta
2. purgadores por impulso
3. purgadores de expansão liquida

( ) purgadores especiais
( ) purgadores mecânicos
( ) purgadores termostáticos

a) 1-2-3

b) 2-1-3

c) 3-2-1

d) 3-1-2

24. “Em um aparelho de construção exatamente simples, cuja única peça móvel é um disco que trabalha dentro de uma pequena câmara abrindo ou fechando simultaneamente, as passagens que dão para a entrada do vapor e para saída do condensado”. Que tipo de purgador é:

a) purgador de expansão metálica

b) purgador termodinâmico

c) purgador termostáticos de fole

d) purgador de bóia

25. Identifique as pressões máximas de vapor dos purgadores relacionados

1. purgadores por impulso	( ) P vapor = 50 kg / cm²
2. purgadores de bóia	( ) P vapor = 180 kg / cm²
3. purgadores termodinâmicos	( ) P vapor = 100kg / cm²
4. purgadores de expansão metálica	( ) P vapor = 35 kg / cm²
5. purgadores de panela invertida	( ) P vapor = 100 kg / cm²

a) 4-5-3-2-1

b) 5-4-3-2-1

c) 3-5-4-2-1

d) 2-5-4-3-1

26. Coloque V para sentença VERDADEIRA e F para sentença FALSA para filtros de tubulação:

( ) Filtros são aparelhos destinados a reter poeiras sólidas em suspensão e corpos estranhos, em corrente de liquido e gases

( ) Os filtros provisórios são peças que se intercalam nas tubulações próximo aos bocais de entrada de equipamentos, para evitar que sujeiras e corpos estranhos deixados nas tubulações durante a montagem penetrem nesses equipamentos quando o sistema for posto em funcionamento

( ) Os filtros permanentes são instalados em tubulações com fluidos sujos que sempre possam apresentar corpos estranhos

( ) Os filtros permanentes são instalados em casos em que não se deseja uma purificação rigorosa e controlada do fluido circulante

a) V-V-V-V

b) V-F-F-F

c) V-V-V-F

d) V-V-F-F

27. Relacione a Segunda coluna com a primeiro para o alinhamento de tubo

1. Coloque o chanfro da curva em linha com o chanfro de tubo deixando espaço de 1/8" para a solda
2. Junte as partes chanfradas deixando lugar para a solda
3. Mova os tubos juntos, em toda extensão, até que os seus chanfros estejam quase encostados, deixando espaço de 1/8" para a solda

( ) curva de 90° a tubo

( ) alinhamento tubo a tubo

( ) junta "T" ao tubo

a) 3-1-2

b) 2-3-1

c) 1-2-3

d) 1-3-2

28. Faça a correlação da Segunda coluna de acordo com a primeira na aplicação de tubulações industriais:

1. Tanto com gás puro, como com a mistura com outros gases ou liquido, causa a fragilidade dos aços em temperaturas elevadas e empolamento do aço carbono em temperaturas moderadas, devido a penetração do hidrogênio atômico do metal
2. Depende fundamentalmente da temperatura e da presença de impurezas, principalmente de produtos sulfurosos e clorados
3. É um fluido pouco corrosivo pra qual os diversos matérias podem ser empregados até a sua temperatura limite de resistência mecânica aceitável
4. São tubulações utilizadas para serviços contínuos com água salgada

( ) tubulação para vapor

( ) tubulação para água salgada

( ) tubulação para hidrogênio

( ) tubulação para hidrocarboneto

a) 1-3-4-2

b) 3-1-4-2

c) 4-3-1-2

d) 3-4-1-2

29. "São suportes que transmitem os pesos para cima, empregados principalmente para tubos leves, dentro de edifícios ou em áreas de processo". Qual é o nome do suporte:

a) suporte para tubos verticais

b) suporte de mola

c) suporte de contrapeso

d) batentes

30. Enumere a Segunda coluna de acordo com a primeira na aplicação dos suportes

1. suportes destinados a suportas os pesos
2. suporte destinados a limitar os movimentos dos tubos
3. dispositivos que absorvem as vibrações

( ) suportes imóveis

( ) ancoragens

( ) suportes de contrapeso

( ) amortecedores

( ) batentes

( ) guias

( ) suporte de mola

a) 2-2-2-2-1-3-1

b) 2-2-2-2-1-1-3

c) 1-2-2-3-2-2-1

d) 3-2-2-2-2-1-1

28 GABARITO

1. B
2. D
3. C
4. A
5. C
6. A
7. B
8. A
9. D
10. C
11. B
12. A
13. A
14. C
15. D
16. B
17. C
18. A
19. D
20. B
21. C
22. D
23. B
24. B
25. A
26. C
27. D
28. D
29. A
30. C

PREFÁCIO

NO DIA-A-DIA

O aço lava, passa, cozinha e congela.

É o aço dos fogões, dos aquecedores, dos refrigeradores, as máquinas de lavar, dos talheres e utensílios domésticos.

O aço também transporta, faz compras, trata da saúde, constrói.

O aço emprega milhares de brasileiros, traz milhões de dólares em divisas.

O aço brasileiro impulsiona o desenvolvimento, fortalece a independência econômica e melhora a qualidade de vida.

NA CONSTRUÇÃO CIVIL

O aço da qualidade à construção.

É essencial às moradias, às indústrias, a montagem da infra-estrutura nacional.

Está presente em pontes, viadutos, elevadores, em tubulações, revestimentos, acabamentos e coberturas.

NO TRANSPORTE

É aço dos carros, caminhões, ônibus, trens, metros, navios, bicicletas e motocicletas. São muitos os meios de transportes produzidos com o aço brasileiro.

Distribuem as riquezas e espalham o progresso.

Exportam produtos, importam divisas e são importantes veículos de turismo e lazer.

O AÇO POR VEZES INVISIVEL

Mais que o aço que você vê, o seu dia-a-dia é repleto de um aço que você não vê.

É o aço brasileiro presente nas industrias que fabricam todos os produtos que não recebem nem um grama de aço. É o aço das máquinas e das ferramentas industriais que manufaturam tecido, madeira, plástico, louça, papel, brinquedos, couro, borracha e de todos os outros materiais.

O aço das hidrelétricas, termelétricas e nucleares. O aço das torres de transmissão, dos transformadores, das subestações e dos cabos elétricos. É o aço das plataformas, tubulações e equipamentos de prospecção e extração de petróleo, dos oleodutos, gasodutos, petroleiros, reservatórios, barris e botijões.

O aço é o produto mais reciclado do mundo: 40% da produção mundial é feita a partir da sucata ferrosa.

SUMÁRIO

29 O QUE É UMA ESTRUTURA METÁLICA

De maneira geral, podemos conceituar Estrutura Metálica Leve como aquelas que não estão sujeitas a grandes cargas, que não são de uso industrial, e que são fabricados com perfis laminados e dobrados a fio de pequena espessura. Em geral, a relação peso/área deste tipo de estrutura está em torno de 15 kg/ m².

As principais vantagens que impulsionam o uso das Estruturas metálicas na construção civil são:

- Alta eficiência construtiva;
- Aumento do espaço útil da construção;
- Alivio das fundações;
- Qualidade e segurança da obra;
- Redução do tempo de construção;
- Flexibilidade para aceitação de produtos no fechamento, cobertura e acabamento;
- Eliminação de escoramentos de madeira;
- Boa parceria com concreto;
- Material reciclável;
- Economia, devido ao pouco desperdício de material;
- Elementos como instalações elétricas e hidráulicas podem ser construídos; durante a fabricação da estrutura;
- Redução do canteiro de obras;

30 PRINCIPAIS ELEMENTOS DE UMA ESTRUTURA METÁLICA

Basicamente, os principais elementos de uma Estrutura Metálica são: Fundação, Pilares ou colunas, Vigas, Contraventamentos, Meios e Elementos de Ligação, Lajes e Elementos de Vedação. A seguir veremos um breve comentário sobre cada um desses elementos.

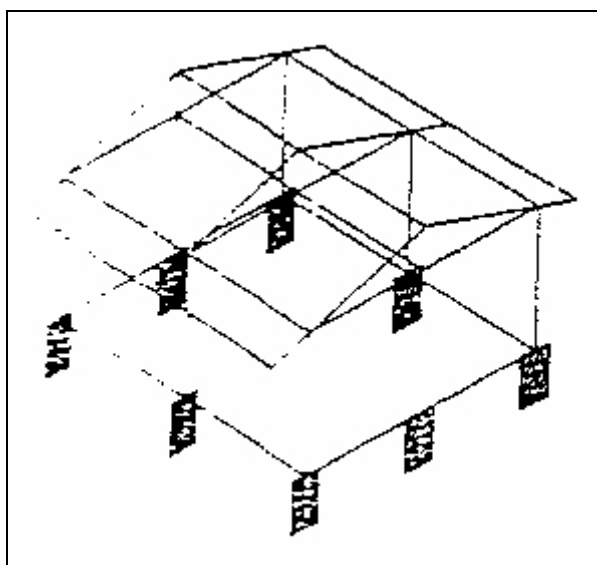



Fig. 1

Fundação

é um conjunto de elementos estruturais, em geral constituídos de concreto, que visam dar base à estrutura e transmitir seu peso para o solo, distribuindo-o de forma que não ocorra um afundamento ou um desalinhamento.

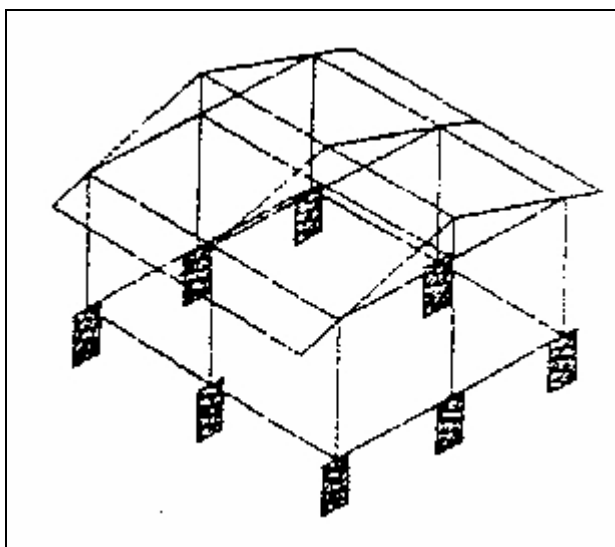



Fig. 2

Colunas ou pilares

São elementos cuja finalidade é apoiar os elementos superiores e transmitir para a fundação a carga atuando sobre a estrutura (peso de vigas, da cobertura, do piso, etc...).

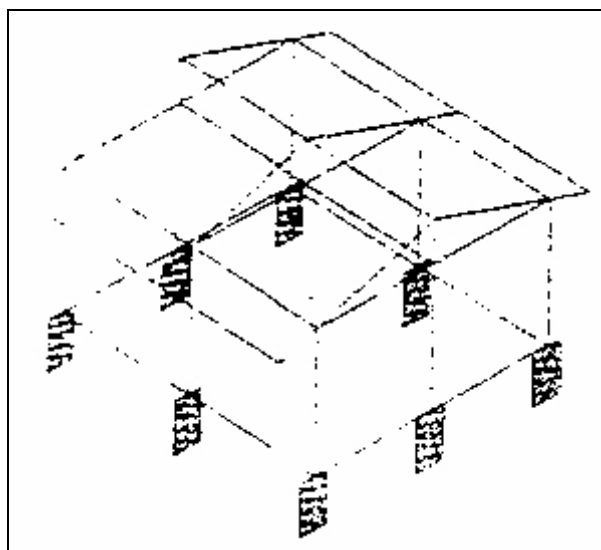



Fig. 3

Vigas

são elementos estruturais criador pra suportar o peso de pisos (lajes), cobertura(telhas, calhas, cumeeiras, terças, etc...) e sobrecargas, transmitindo-as para as colunas. Os principais tipos de vigas são: Vigas de alma cheia, Vigas alveolares, Vigas vierendeel, Treliças (tesouras) e Vigas mistas.

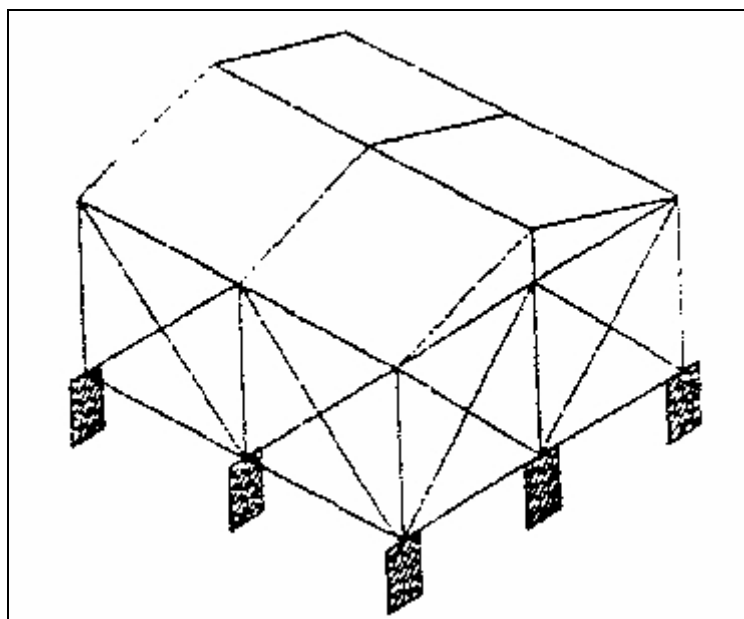



Fig. 4

Contraventamentos

São elementos estruturais inseridos nas estruturas com a função de auxiliá-las a suportar as forças a que elas estão submetidas, enrijecendo ligações e, muitas vezes, garantindo a estabilidade.

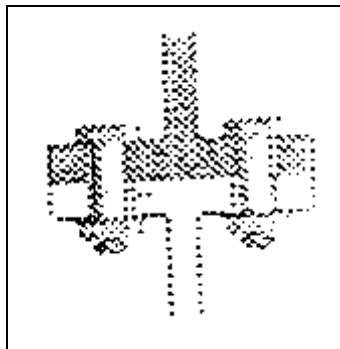



Fig. 5

Meios de ligação (conexões)

São os componentes de uma ligação ou conexão utilizados para unir os elementos estruturais. Os principais meio de ligação são: Parafusos e Solda.

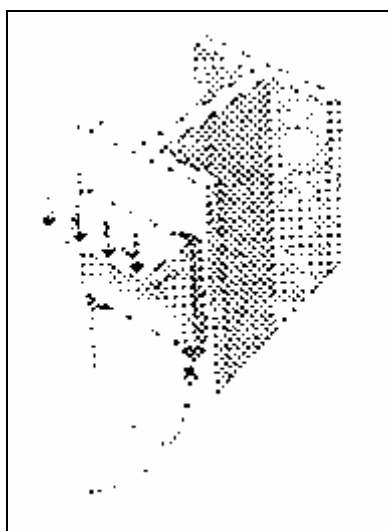



Fig. 6

Elementos de ligação (conexões)

São os componentes auxiliares nas ligações, tais como chapas, cantoneiras e as partes dos próprios elementos estruturais, envolvidos localmente na ligação (mesa ou alma de perfil, aba da cantoneira ou parede do tubo).

Fig. 7

Elementos de vedação

São elementos que envolvem a estrutura, protegendo-a de interpéries e de atmosferas hostis. Normalmente estes elementos não têm função estrutural. Podem ser encontrados como coberturas (telhados) e paredes.

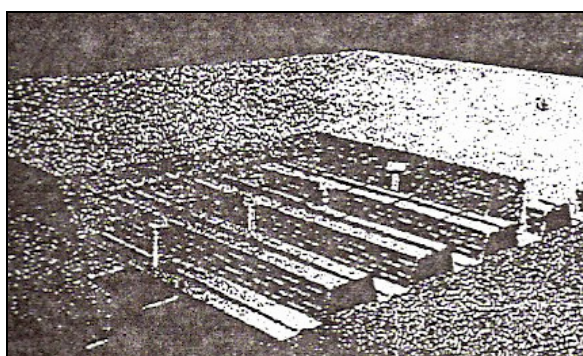



Fig 8

Fig. 8a

Lajes

São elementos estruturais laminares, em geral de concreto ou mistos, que servem de pisos e, eventualmente, de cobertura nas edificações. Recebem diretamente sobrecargas e eventuais pesos de alvenaria, transmitindo-os, juntamente com seu peso próprio as vigas que lhe servem de apoio.

31 TIPOS DE AÇOS MAIS UTILIZADOS E SUAS CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS

O aço é uma liga, cujo o principais constituintes são o ferro (Fe) e o carbono(C), dois elementos químicos que se combinam para dar ao material maior resistência mecânica.

No aço o ferro é o elemento mais abundante e está presente com um teor sempre acima de 98%. Já o carbono apresenta um teor bem menor que o ferro, chegando a 1,6%. As ligas que contem um teor de carbono acima disso são chamadas de ferro fundido (FoFo). Apesar de seu baixo teor, a presença do carbono afeta profundamente as propriedades mecânicas do aço.

O fato do ferro e do carbono serem os principais constituintes não significa que não há outros elementos na composição do aço. O que ocorre na pratica, é encontrarmos pequenas porções de outros elementos, que lá estão devido a questões tecnológicas, ou mesmo econômicas, no processo de fabricação do aço, ou ainda, propositalmente porque queremos conferir certas propriedades do aço. Assim, adicionando-se determinados elementos pode-se obter maior resistência ao desgaste, a fadiga, a corrosão, etc. os elementos mais encontrados nos aços são: manganês, enxofre, silício, fósforo, cobre e níquel.

31.1 TIPOS DE AÇOS MAIS UTILIZADOS E SUAS CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS

Os aços estruturais podem ser devidos em:

– Aço carbono

– Aço de baixa liga

– Aços tratáveis termicamente

Aço carbono

São os aços mais usados nas construções metálicas. As propriedades mecânicas nestes aços são conseguidas devido à presença do carbono e, em menos proporção, do manganês que lhe é adicionado. Ao aumentarmos a quantidade de carbono no aço, aumentamos a sua resistência, mais isto o torna mais frágil, diminuindo, também, a sua soldabilidade. Para que isto não aconteça, o teor de carbono nos aços estruturais deve ser limitado a 0,45%. Os tipos mais usados são:

– ASTM A-36

– ASTM A-570

– ABNT NBR 7007/MR-250 (perfis)

– ASTM A-307 (parafusos)

– ABNT NBR 6648 (chapas grossas)

– ABNT NBR 6649/6650 (chapas finas)

– DIN St 42

– ABNT NBR 8261 (tubos)

Aço de baixa liga

São aços carbonos aos quais são acrescidos certos elementos de liga, tais como: Nióbio, Cobre, Manganês, Silício, Vanádio, etc. os elementos de liga permiti-nos aumentar a resistência e o limite de escoamento dos aços, sem o acréscimo demasiado de carbono (o que nos traria problemas com a ductilidade do aço). Com isso conseguimos com ótima resistência, e boa soldabilidade e segurança. Os aços de baixa liga mais comuns são:

– ASTM A-572

– ASTM A-441

– ABNT NBR 7007/AR-290/AR-345 (perfis)

– ABNT NBR 5000 (chapas grossas)

– ABNT NBR 5004 (chapas finas)

– DIN St 52/ St 46

Alguns elementos de liga (vanádio, cobre, níquel,...) quando adicionados o aço, podem aumentar sua resistência à corrosão, na ordem de 2 a 4 vezes mais do que a dos aços carbonos comuns. Estes aços são comumentes chamados de aços patináveis e os principais tipos são:

– ASTM A-588/A-242

– ABNT NBR 5920/5921 (chapas finas)

– ABNT NBR 7007 AR – COR 345 (perfis)

– ABNT NBR 5008(chapas grossas)

As siderúrgicas brasileiras nomeiam esses aços cada um a sua maneira:

– CSN- Cor (Niocor) => CSN

– Usi-Sac => Usiminas

– Cos-Ar-Cor = > Cosipa

Há ainda, dentro dos aços de baixa liga, aços especiais resistentes ao fogo, pois mantém a sua resistência mecânica em altas temperaturas. Estes aços são fabricados para assegurar a integralidade da estrutura em caso de incêndio. Eles são, basicamente resultados de modificações nas composições dos aços patináveis.

Aços com tratamento térmico

São aços (carbono ou de baixa liga) que podem ter sua resistência mecânica elevada utilizando-se, para isto, de tratamentos térmicos, nos quais a peça tem a temperatura elevada para, em seguida, ser resfriada de forma controlada. Como exemplo de utilização destes aços, podemos citar os parafusos de alta resistência onde são usados aços ASTM A-325 (aço carbono) e o ASTM A-490 (aço de baixa liga).

Um erro comum ao especificar um aço para determinada função é levar-se em conta apenas os aspectos estruturais, não considerando os aspectos do ambiente no qual a peça irá trabalhar. Devemos sempre verificar as condições de exposição das partes metálicas (se as metálicas estão, ou não, protegidas), as condições do meio ambiente (se é um ambiente marinho, industrial agressivo, etc) e as condições de manutenção. A partir desta analise é que, concluímos se há ou não necessidade da utilização de um aço especial ou de algum revestimento para diminuirmos os efeitos de ataques químicos, como a corrosão. Somente após esta analise é que são considerados os aspectos estruturais do elemento a ser fabricado, verificando os

esforços atuantes nas peças, e por conseguinte, o tipo de aço adequado e suas respectivas dimensões para que possa suportar cargas a que esta submetido.

32 APLICAÇÕES

As figuras 18 a 23 apresentam algumas aplicações de estruturas metálicas:

Ginásios

Fig 18

Escadas

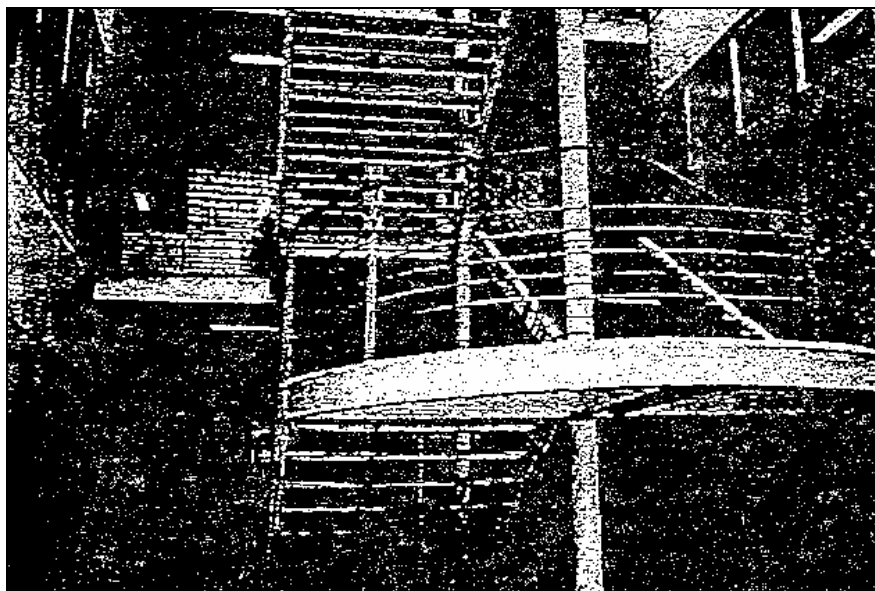



Fig 19

Passarelas

Fig. 20

Postos de gasolina

Fig 21

33 NORMAS PARA ESTRUTURAS METÁLICAS

Norma

Aquilo que se estabelece como base ou medida para realização ou avaliação de alguma coisa

Fonte: Dicionário Aurélio

Pela definição do dicionário já da para termos uma noção do que seja uma norma técnica. Ela nada mais é do que uma padronização de atividades, de modo que seja compreendida e utilizada ao nível de empresas (se é norma interna da empresa), nacional (se é norma nacional) ou internacional (se é norma internacional). A padronização das atividades é feita de forma criteriosa de modo que elas sejam comprovadamente corretas, sendo tecnicamente testadas, aprovadas e aceitas.

Para que as normas proporcionem o efeito desejado, é preciso que tenhamos alguns cuidados. As normas devem ser usadas por um profissional habilitado, que seja capaz de interpretá-la e usá-la de maneira correta. Alem disso, devemos sempre verificar os caos que se aplicam às normas.

As principais normas brasileiras relacionadas a construções metálicas são:

- NBR 8800/1986 Projeto e execução de estruturas de aço de edifícios; (deverá ser revisada este ano);
- NBR 14323/1999 Dimensionamento de estruturas de aço de edifícios em situação de incêndio;
- NBR 14432/2000 Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações;
- NBR 6123/1999 Forças devido ao vento em edificações;
- NBR 6120/1999 Cargas para calculo de estruturas de edificações;

Há ainda uma norma em fase de aprovação sobre projeto de estruturas com perfis formados a frio.

Existem instituições internacionais que desenvolvem normas muito usadas no Brasil e no mundo, sendo inclusive as normas brasileiras baseadas em algumas delas. Entre estas instituições, podemos citar:

- ASTM – American Socyete for Testing and Materials; que trata da especificação de aços e parafusos;

– DIN – Deustsche Industrie Normen, instituição alemã cujas normas são muito utilizadas no Brasil;

– AISC – American Institute of Steel Construction, instituição norte-americana cujas normas voltadas para uso de estruturas possíveis na construção civil;

– AISI – American Iron and Steel Institute e ASCE – American Society of Civil Engieers, instituições norte-americanas que editam normas aplicáveis e perfis formados a frio;

– CEN – Comitê Europeu de Normalização, instituição que congrega 18 paises europeus e é responsável pelas normas européias ENV, conhecidas como Eurocódigos.

34 FABRICAÇÃO DE ESTRUTURAS METÁLICAS

Aqui nesta parte da cartilha não se tem a pretensão de ensinar como se fabrica uma estrutura metálica. O objetivo aqui é mostrar as principais fases de fabricação de uma estrutura, citando os pontos mais importantes e transmitindo informações que poderão ajudar no dia-a-dia.

34.1 ANÁLISE DE PROJETOS

Antes de iniciar a fabricação de uma estrutura, deve-se analisar o projeto para que se tenha em mãos:

– O tempo e o numero de trabalhadores necessários para fabricação de estrutura

– Um cronograma/fluxograma da fabricação, com as operações, tempo de execução, material empregado e operários necessários para cada etapa. O cronograma é um item que serve, sobretudo, para orientar sobre o andamento do trabalho;

– Material necessário para fabricação da estrutura em cada etapa prevista no cronograma e um calendário para compras destes materiais. Devemos, sempre que possível, manter um estoque com materiais mais utilizados, o que pode evitar, ou diminuir as chances de eventuais atrasos na fabricação causados por uma entrega de materiais ineficiente, o que acarreta em prejuízos financeiros que são aumentados pela paralisação de operários;

34.2 CONFECÇÃO DOS GABARITOS:

Consiste na fabricação de modelos, de papelão, madeira ou metal, em escala 1:1 onde são marcadas as dimensões da peça a ser fabricada.

Este serviço deve ser executado por um profissional com grande habilidade na leitura e interpretação de desenho, com certa experiência na função e que seja muito responsável, pois a precisão dimensional das peças dependerá fortemente dos gabaritos.

34.3 DESEMPENO OU APLAINAMENTO

Muitas vezes os produtos laminados apresentam distorções e deformações nas suas dimensões causadas por erros de armazenagem, manuseio, ou outra falha qualquer no processo. Quando isso ocorre é necessário efetua o desempeno e o aplainamento da peça, sempre sob supervisão de um engenheiro. Neste caso, o produto sofre um aquecimento controlado, um desempenamento mecânico ou aplainamento do material. O processo deve ser executado com cautela para evitar o amassamento ou esmagamento localizados.

34.4 DOBRAMENTO

Consiste no dobramento de peças para atingir uma determinada forma. O dobramento pode ser feito a quente, ou a frio. O que determina o uso de um ou de outro processo é o tipo de material empregado, a ferramenta usada e o ângulo de dobramento.

34.5 CALANDRAGEM

Consiste num tipo especial de dobramento, em que um material passa por cilindros, adquirindo o formato de um aço. (fig 17)

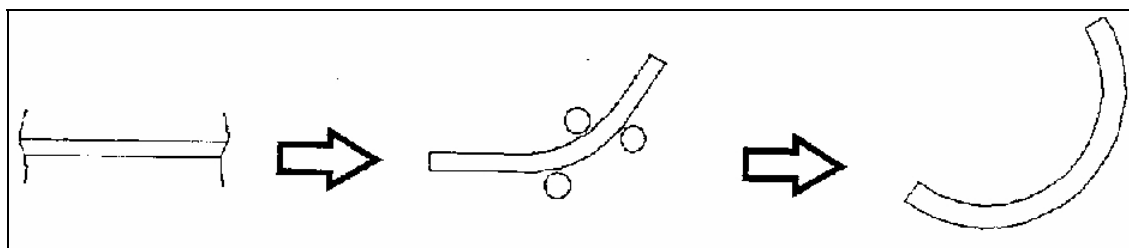



Fig 27

34.6 PRÉ DEFORMAÇÃO

Consiste em dar deformação na peça antes que ela seja submetida a um processo onde absorva calor, ou outra forma de energia. Veja o exemplo na fig 28.

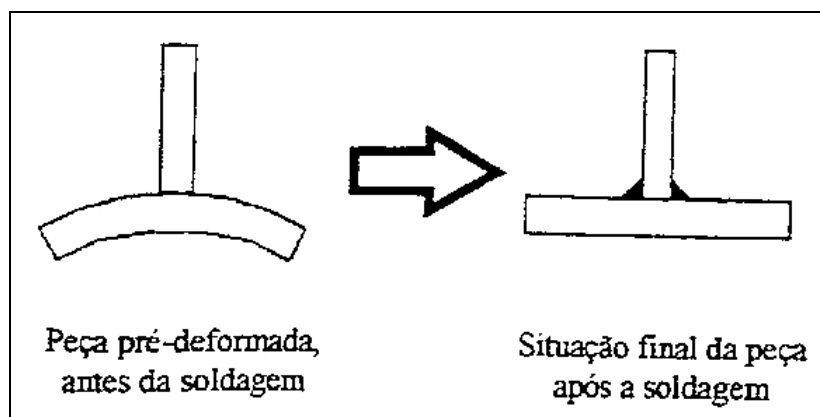



Fig 28

34.7 DISPOSITIVOS DE CORTE

- Cortes térmicos: com oxi-corte, com Eletrodo de Carvão, com Eletrodo de Chanfro, a Plasma;
- Cortes mecânicos: com tesouras, com guilhotinas, com serras, com ferramentas abrasivas.

34.8 OXI-CORTE

É um dos processos de corte mais usado. Consiste em aquecer o aço através de uma chama que é resultante de uma reação química entre o oxigênio e o combustível. Assim que a temperatura adequada é atingida, adiciona-se um jato de oxigênio com alta velocidade. O oxigênio irá reagir com o metal formando uma camada de óxido, que é expulsa pelo mesmo oxigênio devido a sua velocidade elevada. A seguir o metal fica novamente exposto ao oxigênio e o processo recomeça.

Os combustíveis mais usados são o acetileno e o GLP. O acetileno tem a vantagem de ter uma chama de alta temperatura e, conseqüentemente, a temperatura de ignição é atingida mais rapidamente do que o GLP. O GLP tem a vantagem de se mais barato do que o acetileno, mais requer um tempo maior para atingir a temperatura da ignição. Alem destes dois já citados, podem ser usados como combustível o Metil-acetileno-Propadieno (aplicados em cortes sub-aquáticos), o propileno (aplicados em cortes sub-aquáticos) e a gasolina (para cortes de peças com grandes espessuras).

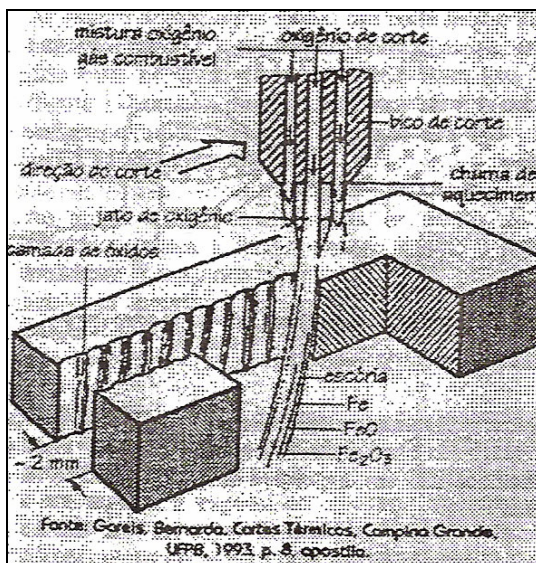



Fig 29

Os equipamentos necessários para operação de oxi-corte são:

- Cilindro;
- Mangueiras;
- Regulador de pressão;
- Equipamentos de proteção;
- Individual (EPIs) e coletivos (EPCs)
- Maçarico com bico de corte;
- Válvula unidirecional;
- Manômetro;
- Válvula corta-chamas;

34.9 EPIS:

- Capacetes

- Avental
- Óculos
- Luvas
- Perneira
- Botina

Fonte: Gerdau-Oxi, p. 3, apostila.

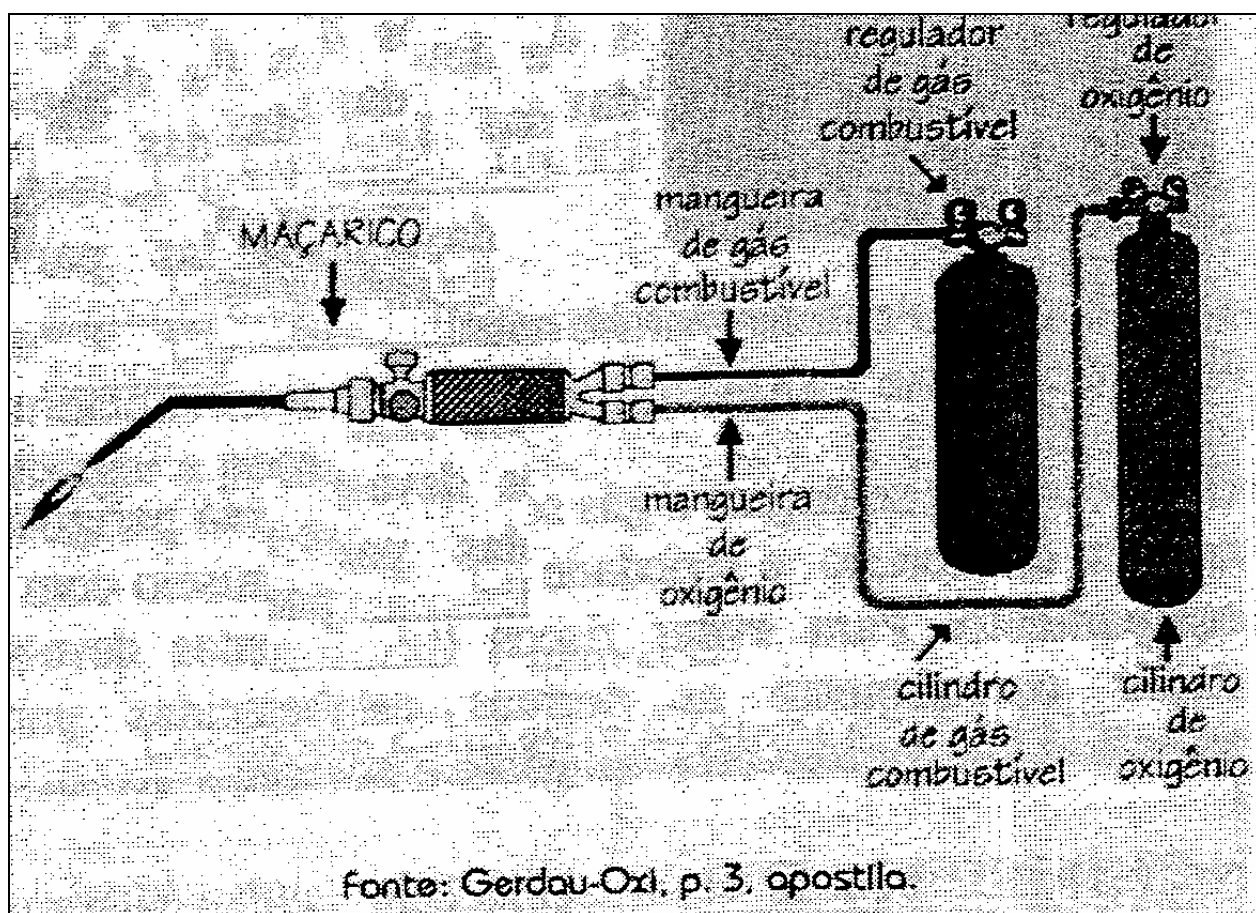



Fig 30

No processo de oxi-corte deve-se ter muito cuidado com o equipamento e gases usados. Trata-se de um processo de alto risco, se não executado corretamente. Portanto, é imprescindível conhecer todos os equipamentos necessários e empregar

um operador experiente e plenamente qualificado. Não são poucos os casos de acidentes que se conhece neste processo.

34.10 CORTE COM ELETRODO DE CARVÃO:

Neste processo, o corte é realizado pelo calor produzido por um arco elétrico entre a peça e o eletrodo, fazendo com que o aço se funda. Um jato de ar comprimido retira o metal fundido, como nos mostra a fig. 31.

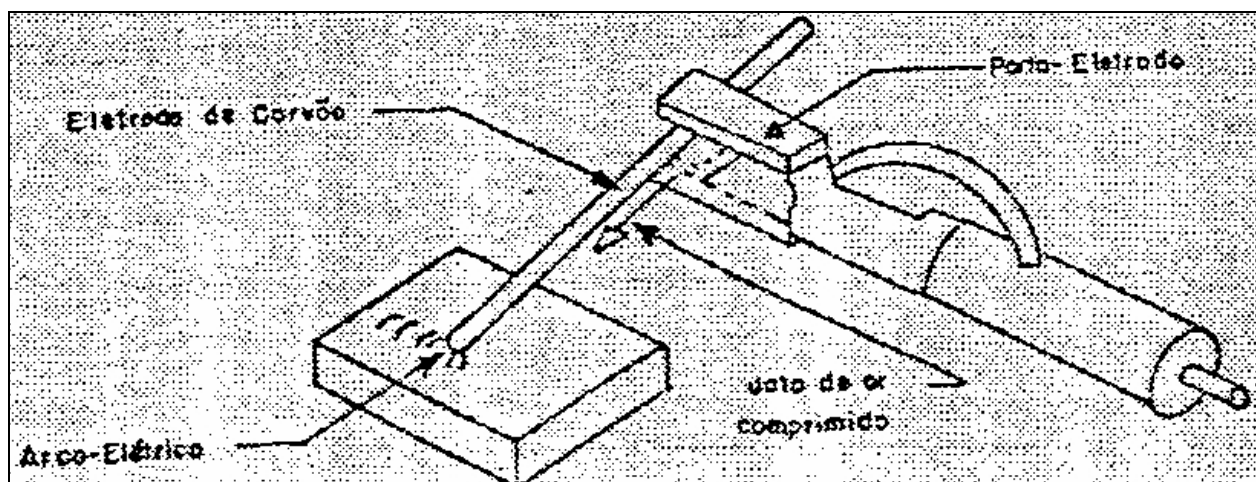



Fig 31

Os equipamentos para o processo são os mesmos para o processo de soldagem de eletrodo revestido, o qual será visto mais adiante, acrescentando-se, apenas, o jato de ar, responsável pela retirada do metal fundido. O eletrodo, neste processo, é consumível, composto de carvão revestido de cobre.

O corte com eletrodo de carvão pode ser usado em aços e alguns metais não ferrosos. Entre as vantagens deste processo, podemos citar a rapidez do corte e o fato de usar praticamente o mesmo equipamento do processo de solda com eletrodo revestido, que é muito comum nas empresas que trabalham com estruturas

metálicas. Entre as desvantagens, a imprecisão do corte e o risco de contaminação do material pelo eletrodo são as principais limitações do processo.

Os cuidados com a segurança durante a realização do corte são os mesmos que devem ser tomados quando estamos em uma operação de soldagem com eletrodo revestido, dentre as quais podemos citar:

- Cuidado com a grande emissão de radiações visíveis e de ultravioleta, utilizando a mascara de soldador com a lente correta (fig. 32);
- Cuidado com as projeções de materiais em altas temperaturas, utilizando avental, perneira etc;
- Cuidado com os fumos metálicos (os quais podemos definir, simplificadamente, como sendo a fumaça carregada de metais produzida no processo), utilizando mascaras faciais quando necessário (fig. 33);
- Cuidado com choques elétricos;

Fig 32

Fig 33

34.11 CORTE COM ELETRODO DE CHANFRO E CORTE

São cortes realizados com equipamento de solda com eletrodo, mas com eletrodo especial para este tipo de operação e com uma amperagem bem alta.

34.12 CORTE A PLASMA

É empregado para alguns metais não ferrosos (latão, cobre, etc), concreto, cerâmicos e aços especiais que não podem se cortados utilizando-se os outros métodos já citados. Entretanto, tem a desvantagem de ser um processo de alto custo.

Simplificadamente, o processo utiliza em um gás (geralmente argônio ou hidrogênio), o qual é aquecido através de um arco elétrico de alta voltagem, formando o plasma. Este, por sua vez, é direcionado contra a peça, cortando-são o arco elétrico pode ser formado entre o bocal de gás e o eletrodo (corte a plasma com arco não transferido), ou entre o eletrodo e a peça (corte plasma com arco transferido).

34.13 TESOURAS:

Aplica-se a cortes de chapas de pequenas espessuras, para calhas, tubos de decidas, rufos, etc.

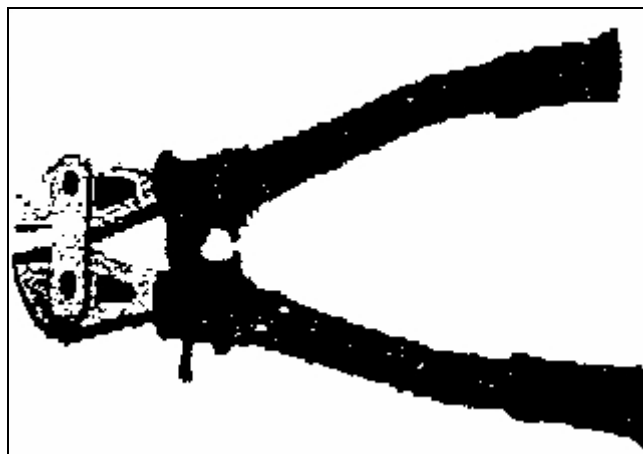



Fig. 34

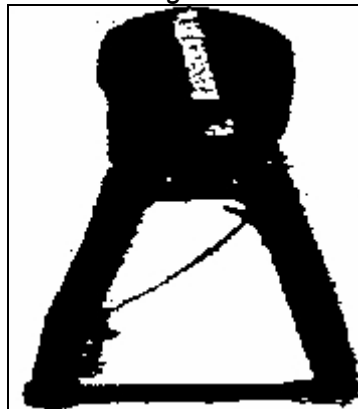



Fig 35

34.14 GUILHOTINAS:

São aplicadas em cortes de chapas e perfis de pequenas espessuras (até aproximadamente 12,5 mm). Geralmente causam pequenas deformações nas extremidades submetidas ao corte.

34.15 SERRAS:

As serras são aplicadas no corte de perfis, com a vantagem de não deformar a área cortada. As operações com serras podem ser manuais ou executadas através de máquinas alternativas, rotativas e fitas (figs. 36 e 37).

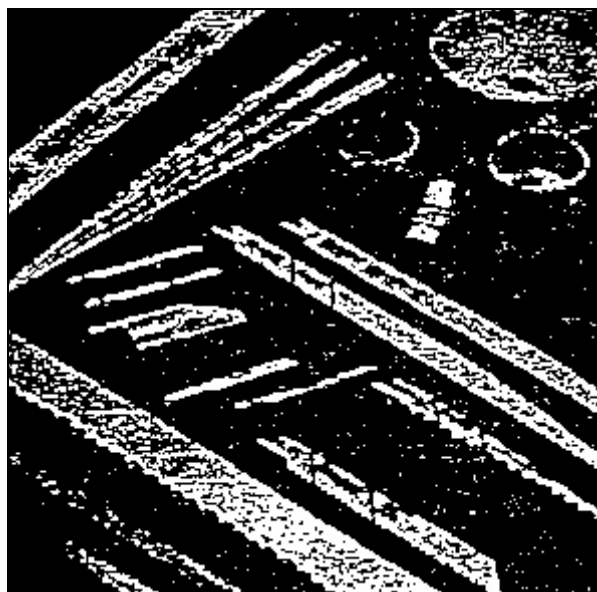



Fig 36

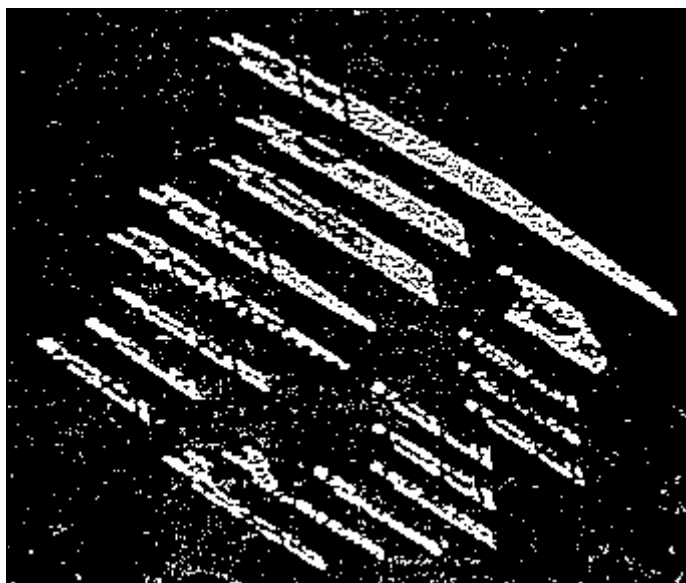



Fig. 37

34.16 CORTE COM FERRAMENTA ABRASIVA:

São os equipamentos mais utilizados para cortes de perfis, tubos, chapas, etc, de aço, devido a sua rapidez, ao seu baixo custo e a alta qualidade do acabamento, relegando as serras apenas ao corte de materiais moles não ferrosos. A máquina de corte com ferramenta abrasiva mais conhecida e utilizada é a de ataque direto, comumente chamada de policorte (fig. 38 e 39).

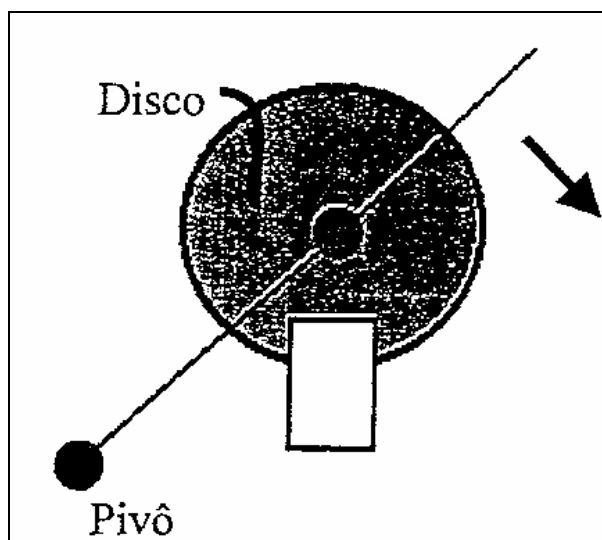



Fig 38

Fig 39

Nelas o disco de corte é montado sobre um eixo oscilante, sobre a qual atua o operador. Alem desta temos também: as máquinas horizontais (fig 40), onde a peça e o disco de corte tem movimentos horizontais; as máquinas rotativas (fig 41), onde a peça a ser rodada gira, permitindo que peças com grandes diâmetros possam ser cortadas com discos de tamanhos relativamente pequenos; e, por fim, as máquinas oscilantes que são máquinas automáticas, com o eixo que suporta o disco de corte oscilante.

Os equipamentos citados acima são máquinas fixas, não portáteis. Entretanto, temos também uma máquina portátil muito conhecida que realiza tanto corte quanto desbaste de peças metálicas: a esmerilhadeira (também nomeada como lixadeira) (fig 42).

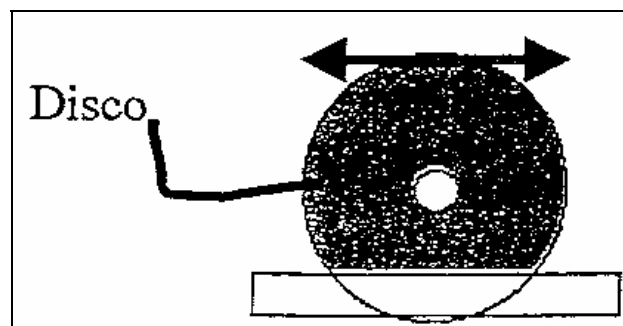



Fig 40

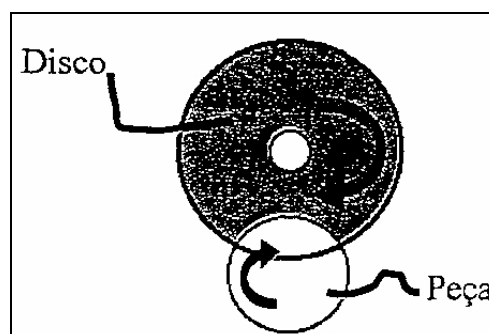



Fig. 41

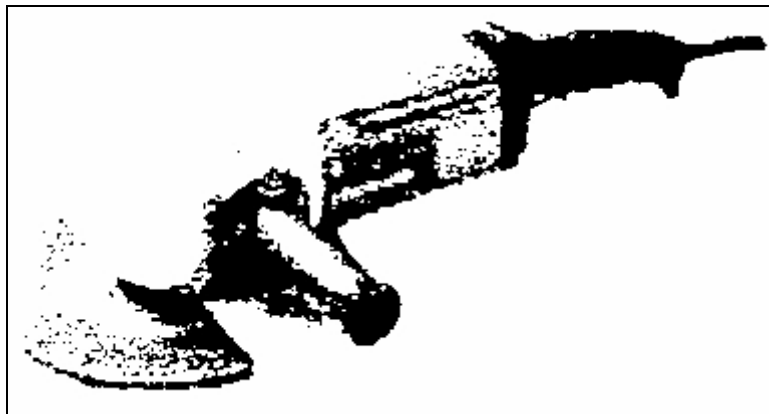



Fig. 42

A escolha correta de disco de corte (fig 43) depende sempre dos resultados esperados. Deve-se então, conhecer bem as variáveis envolvidas nessa escolha. A potência da máquina, o tipo de material da peça, a seção de corte, o acabamento superficial e o sistema de refrigeração são itens que influem nas escolhas dos discos (fig 44). Um bom parâmetro para verificarmos a eficiência do rebôlo no corte é a verificação visual.

Fig. 43

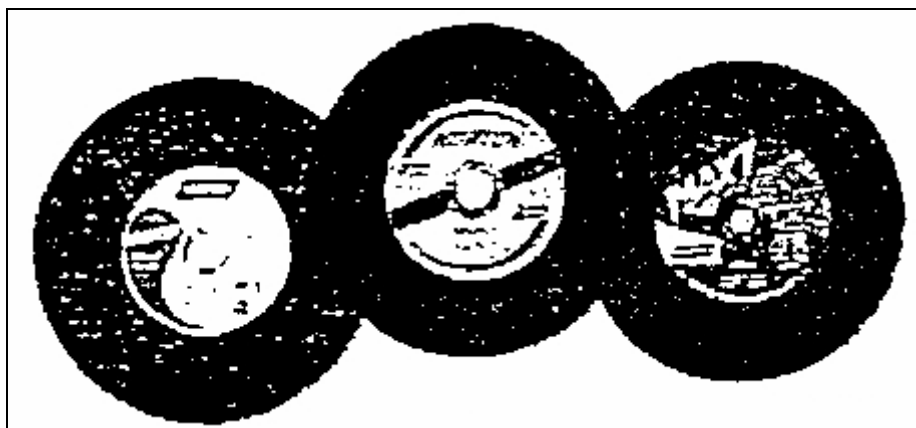



Fig 44

Os cuidados com a segurança quando trabalhamos com estas máquinas devem ser observados, devido ao alto risco na operação desses equipamentos. Eles devem estar com todos os seus dispositivos de segurança em perfeito estado e o seu operador deve estar bem treinado e utilizando todos os equipamentos de proteção individuais necessários (óculos de segurança, protetor facial, protetor auricular, luvas e máscara facial para retenção de poeira, fig 45). Anúncios como os da fig. 46 devem ser afixados na oficina para lembrar aos operadores os procedimentos de segurança. Alem disto, o disco de corte deve ser diariamente inspecionado para se verificar o seu estado de utilização.

Fig 45

Fig 46a *Fig 46b*

Outro procedimento de segurança importante é a escolha adequada da face de trabalho do disco de corte. Os discos de corte foram projetados para utilizar a sua face frontal como elemento de corte. Não se pode, de forma alguma, utilizá-lo para tirar rebarbas das peças cortadas, principalmente com a face lateral do disco (fig 47). Isto provoca a quebra do disco, pode causar sérios ferimentos, e por em risco, tanto o operador quanto as pessoas próximas ao equipamento.

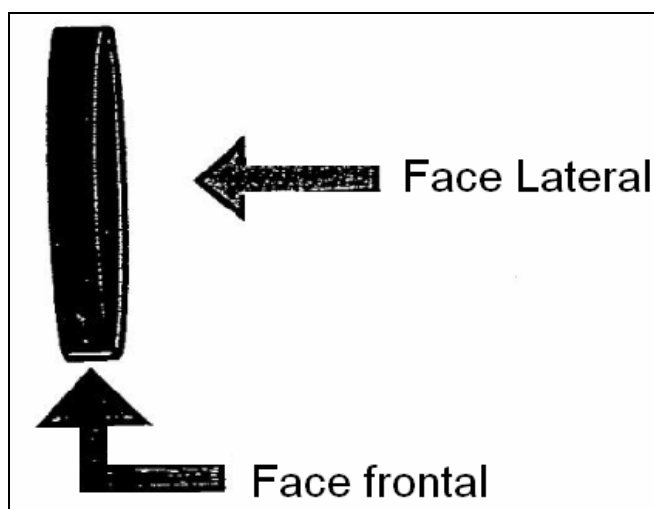



Fig 47

As figs. 51 e 52 abaixo dão alguns exemplos de simbologia de soldas:

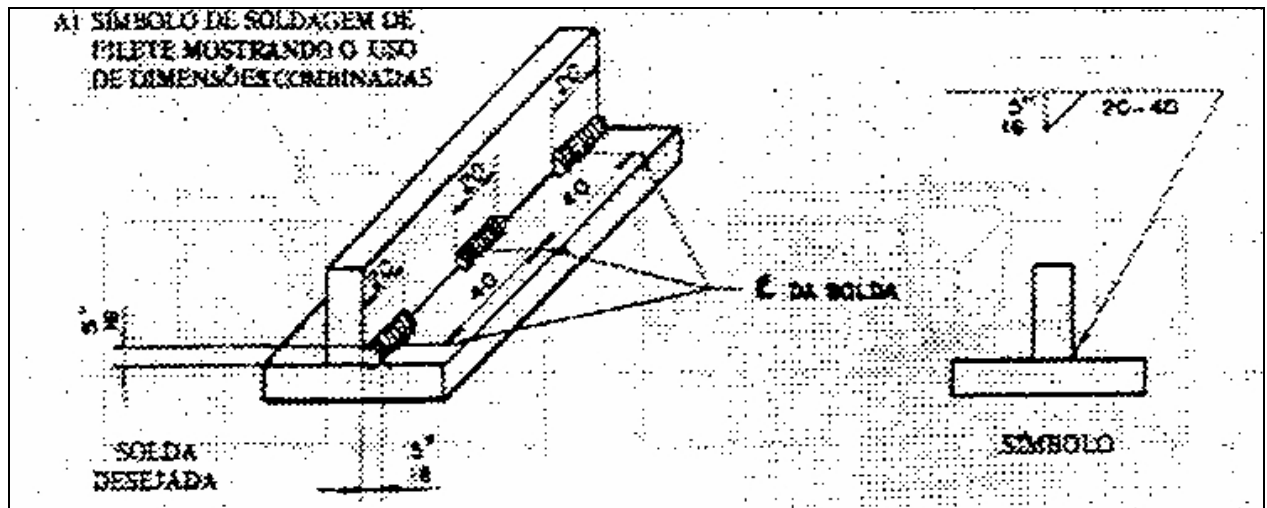



Fig 51

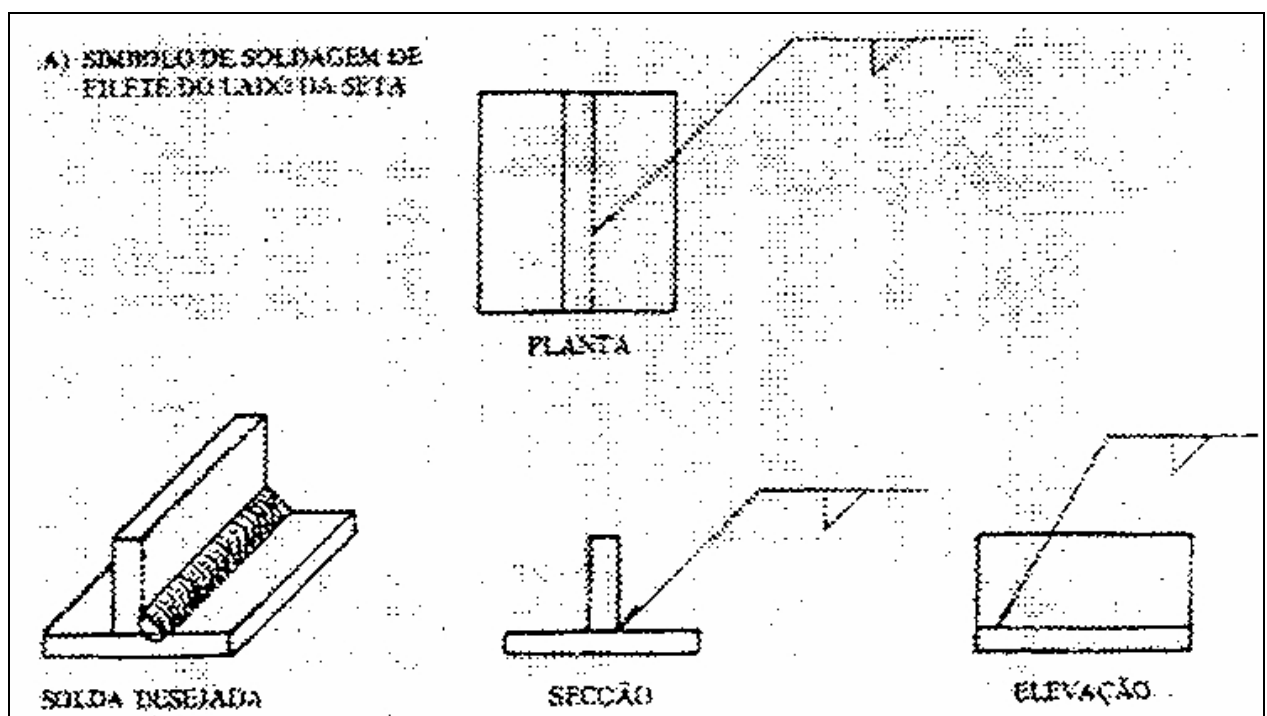



Fig 52

Soldagem de filete do lado oposto ao da seta (fig 53)

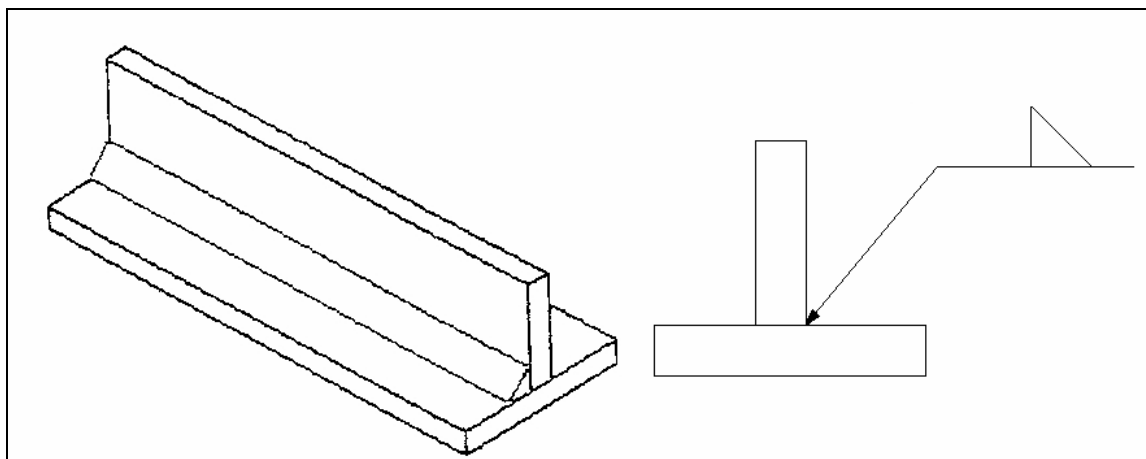



Fig 53

Soldagem de filete em todo o contorno do cilindro (fig. 54)

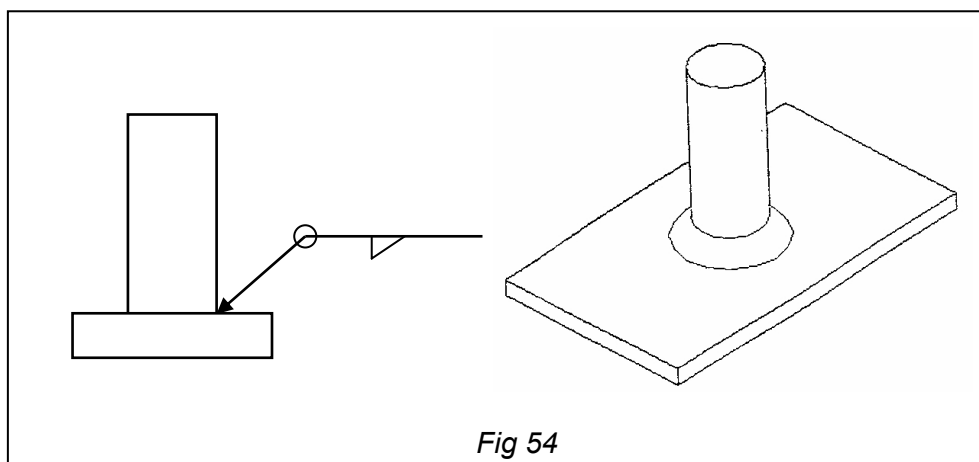



Fig 54

Soldagem de entalhe reto do lado da seta (fig 55)

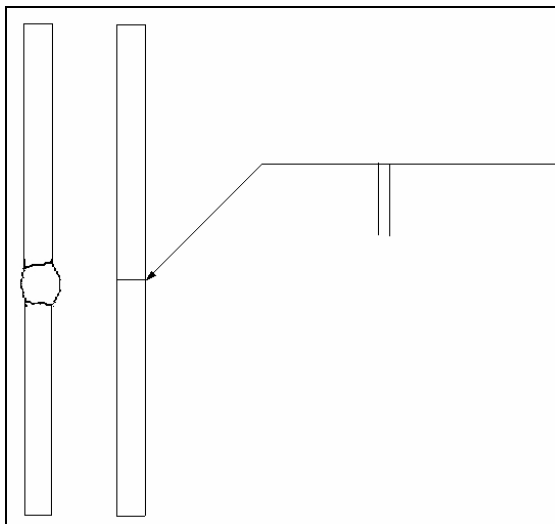



Fig 55

35 SOLDAGEM

A soldagem é o processo de união de dois materiais, assegurando a continuidade das propriedades físicas e químicas do material base. Há vários processos de soldagem, dentre os quais podemos citar:

- Soldagem com eletrodo revestido;
- Soldagem a gás;
- Soldagem TIG/MIG/MAG;
- Soldagem com arco submerso;
- Soldagem com arame tubular;

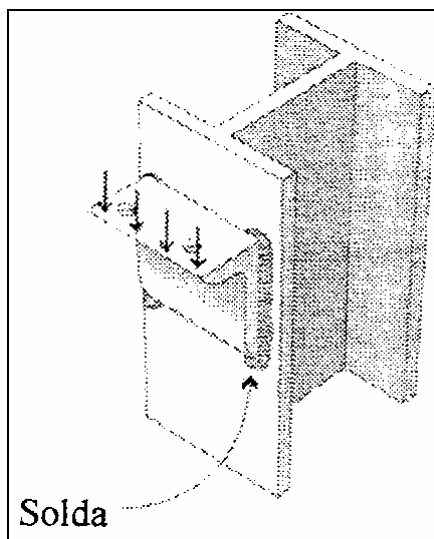



Fig 49

Antes de falarmos sobre o processo de soldagem, iremos abordar a questão da simbologia e posições de soldagem. As figs. 49 e 50 apresentam símbolos usados para especificar soldas.

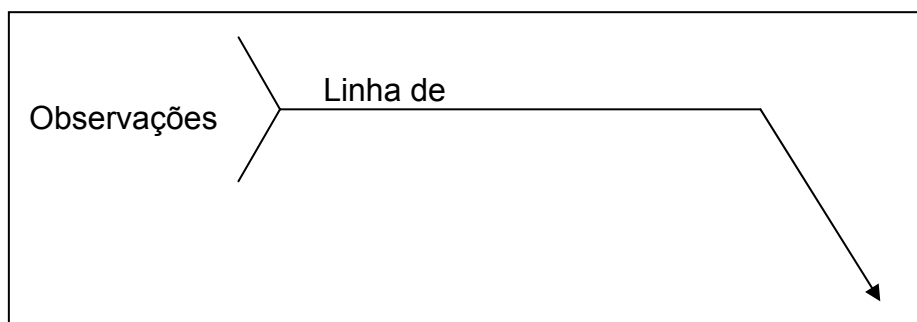



Fig 49

Estes símbolos representam os procedimentos a serem usados na soldagem.

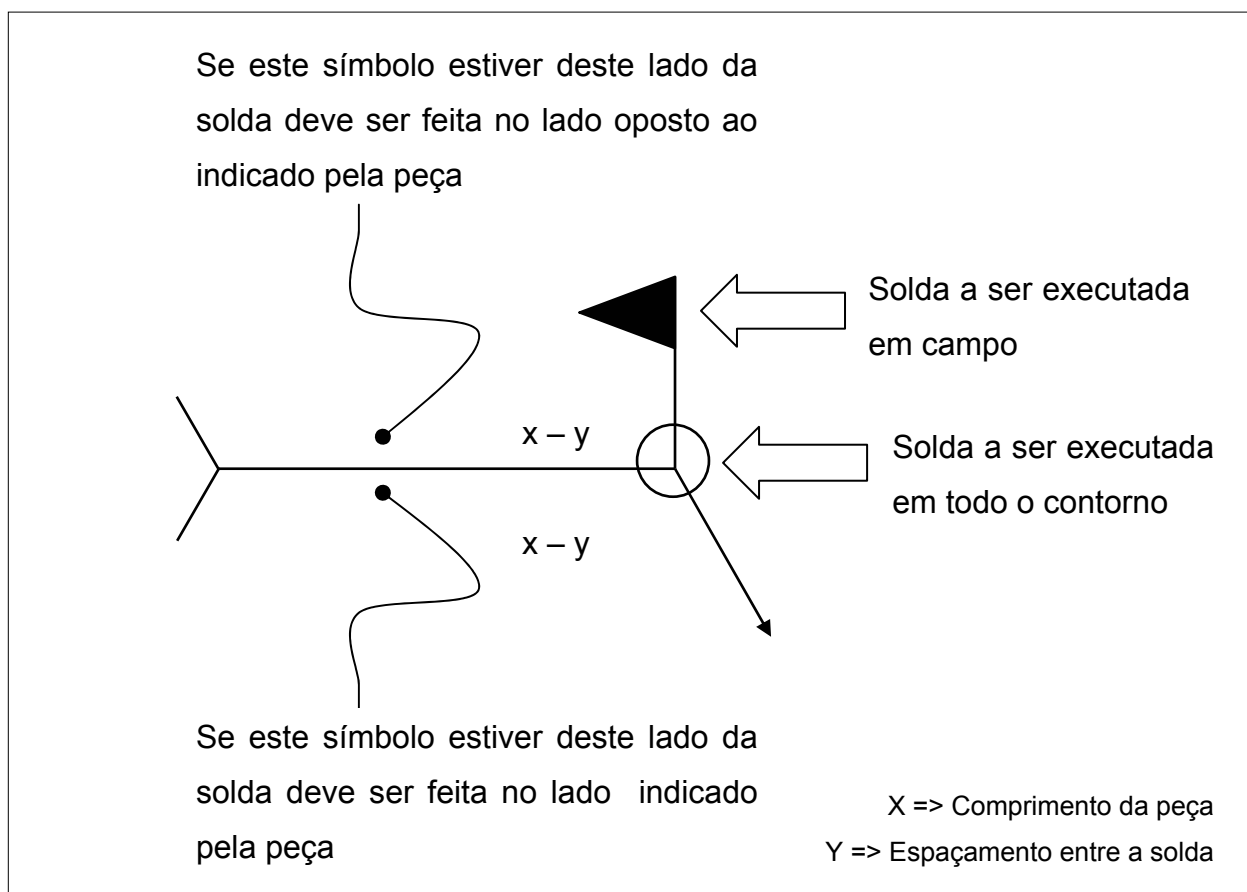



Fig 50

35.1 SOLDAGEM COM ELETRODO REVESTIDO

É o processo mais utilizado nas construções metálicas. Consiste em criar um arco elétrico entre um eletrodo e a peça a se soldada (o que restringe este método para materiais condutores de corrente elétrica), e usar a energia contida neste arco para fundi a peça na zona de soldagem e o material de adição, realizando a solda (fig 56). O metal de adição é o próprio eletrodo, daí a denominação eletrodo consumível.

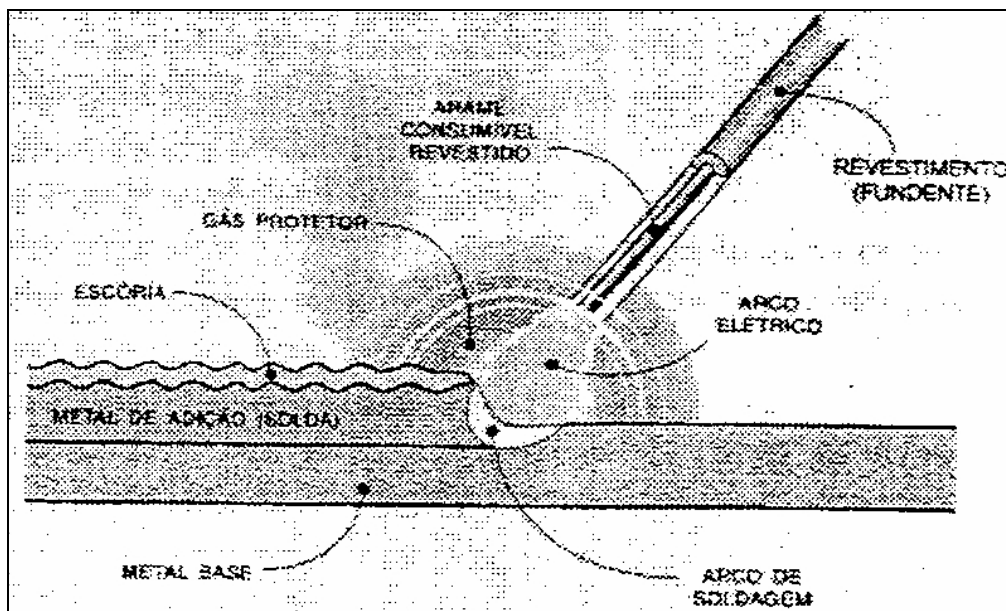



Fig 56

Durante o processo de soldagem existiam problemas de contaminação da peça e, conseqüentemente, perda das propriedades mecânicas. Isso ocorria em decorrência da fragilidade do aço ao ataque do ar atmosférico quando esta submetido a altas temperaturas. Para corrigir este problema, foi desenvolvido um material que reveste o eletrodo (daí o nome eletrodo revestido). Esta substancia tem densidade (relação peso/volume) menor do que a peça a ser usada, fazendo com que flutue sobre a junta soldada, protegendo-a do ataque do ar atmosférico.

Durante o processo, o revestimento do eletrodo forma um gás que também protege a solda durante o processo. Com o desenvolvimento deste processo de soldagem novas funções surgiram para o revestimento, entre as quais podemos citar:

– Evitar a abertura de arcos laterais, usando revestimentos dielétricos (não condutores de corrente elétrica).

– Melhorar as propriedades mecânicas da solda, adicionando-se, ao eletrodo, elementos apropriados.

Os tipos de revestimento são: Rutílico, Básico, Ácido e Oxidante. A escolha do revestimento é muito importante para as propriedades as solda. Uma escolha equivocada pode trazer conseqüências desagradáveis, como trincas e soldas com propriedades menores do que as exigidas para a junta.

O sistema de classificação para eletrodos mais popular é o AWS (American Welding Society), e tem forma:

E-XXyZ

E: designa eletrodo revestido;

XX: designa os limites mínimos de resistência e de escoamento;

Y: designa as posições de soldagem;

Z: define o tipo de revestimento, penetração do arco e corrente empregada;

Fig 57 a

Fig. 57 b

A seguir, apresentamos a Tabela2 com características dos principais tipos de eletrodos.

Classificação	Revestimento	Características	Aplicações
E-6010	Altamente Celulósico, com silicato de sódio	✓ Alta penetração; ✓ Aspecto superficial pobre;	Uso geral em tanques, tubulações e navios
E-6011	Altamente Celulósico, com silicato de potássio	✓ Alta penetração; ✓ Aspecto superficial pobre;	Uso geral em tanques, tubulações e navios
E-6012	Rutílico com silicato de sódio	✓ Média penetração; ✓ Bom aspecto superficial; ✓ Escória densa;	Uso geral
E-6013	Rutílico com silicato de potássio	Semelhante ao E-6012, porem com penetração inferior	Em pequenos diâmetros, é recomendado para chapas finas
E-6020	Ácido, à base de óxido de ferro	✓ Média / Alta penetração; ✓Aspecto superficial Razoável;	Uso em vasos de pressão, bases de máquinas e estruturas
E-6022		✓ Média penetração; ✓ Aspecto superficial Razoável;	Indicados para soldas monapasse
E-6027	Ácido, à base de óxido de ferro	✓ Média penetração; ✓ Bom aspecto superficial;	Uso em seções espessas
E-7014	Semelhante ao E-6012 e E-6013 com adição de pó de ferro		

Classificação	Revestimento	Características	Aplicações
E-7015	Básico com silicato de sódio	✓ Moderada penetração; ✓ Aspecto superficial Razoável; ✓ Requer maior habilidade;	Uso onde propriedades mecânica e qualidade do depósito sã essenciais
E-7016	Básico com silicato de potássio e pó de ferro	Semelhante ao E-6012	Semelhante ao E-6012
E-7018	Semelhante ao E-7016 com alta adição de pó de ferro	Semelhante ao E-7016	Semelhante ao E-7016
E-7024	Semelhante ao E-6012 e E-6013 com grande adição de pó de ferro	✓ Alta taxa de deposição;	Uso geralmente em soldas d filetes
E-7027	Semelhante ao E-6027	✓ Média / Alta penetração; ✓Aspecto superficial Razoável;	Uso onde propriedades mecânic superiores são necessários
E-7028	Semelhante ao E-7018, com maior adição de pó de ferro;		
E-7048	Semelhante ao E7018	Semelhante ao E7018	Uso especificamente pa soldagem na posição vertic descendente

Alguns cuidados devem ser tomados com o manuseio e armazenamento dos eletrodos, entre os quais podemos citar:

- Os eletrodos, varetas e fluxos em estoque devem ser armazenados em estufa;
- A ordem de retirada de embalagens do estoque deve evitar a utilização preferencial dos materiais recém chegados e, conseqüentemente, armazenagem prolongada de alguns lotes;
- Os eletrodos devem ser dispostos em prateleiras. Na estufa da secagem com camada não superior a 50mm e na manutenção com camada não superior a 150mm;
- Quando houver dúvidas quanto ao tratamento a ser dado aos consumíveis, deve ser solicitado ao fabricante um procedimento detalhado sobre o manuseio, armazenamento e secagem.
- Devem ser elaborados formulários específicos para o controle dos consumíveis.

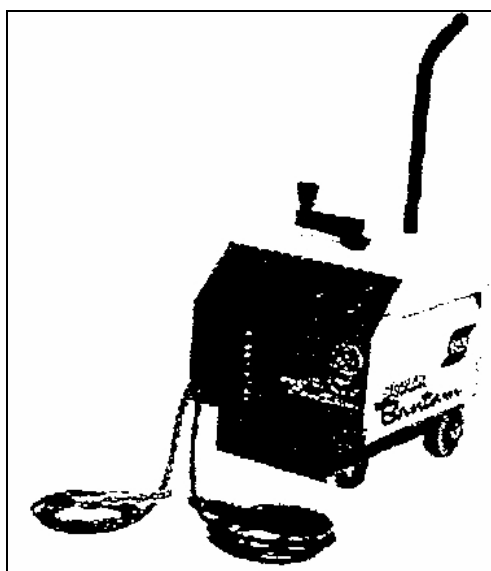



Fig 58

A segurança do operador deve se vista com muita atenção. Ele deve ser qualificado e receber treinamento sobre segurança no manejo do equipamento. Alem disso, ele deve analisar bem o ambiente onde irá ser realizada a soldagem, verificando se não há riscos para a atividade. Os principais riscos para a atividade são:

- Radiações;
- Eletricidade;
- Queimaduras;
- Projeção de material com alta temperatura;
- Gases poluentes.

Para prevenir estes e outros riscos, o operador deve usar equipamentos de proteção individual, que são:

- Mascara de soldagem;
- Óculos de proteção;
- Luvas de couro;
- Avental de couro;
- Mangas de couro;
- Perneiras de couro;
- Touca de soldador;
- Botas de segurança;

Outro item importante é a limpeza das peças a serem soldadas, para evitar que a solda fique contaminada e tenha, assim, prejudicadas as suas propriedades.

Um maior controle de qualidade é, também, necessário, principalmente em peças de grande responsabilidade, há vários exames que analisam a qualidade da solda, através da presença, ou não, de trincas e microfissuras. Os principais são: partículas magnéticas, radiografia, ultra-son, liquido penetrante, exame visual e estanqueidade.

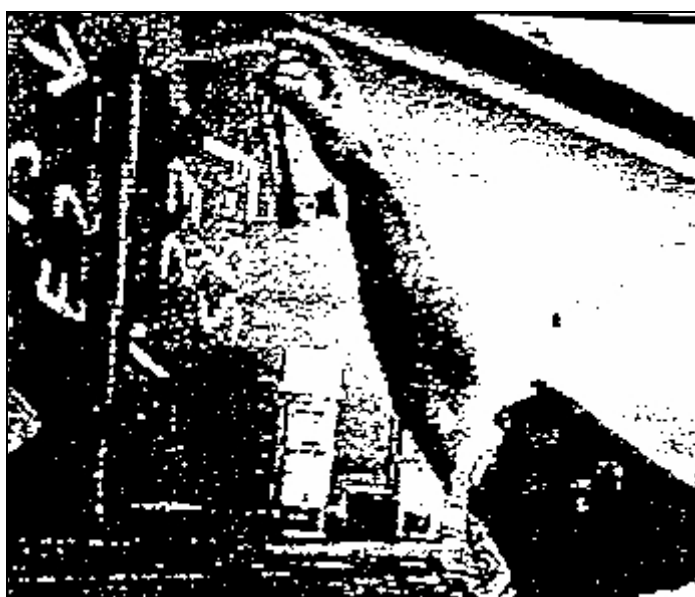



Fig 59 a

Fig 59 b

35.2 SOLDAGEM A GÁS

É um processo de soldagem por fusão, onde materiais são aquecidos até o ponto de fusão e unidos, podendo ou não haver ai o metal de adição (vareta). Há ainda, em alguns casos, a necessidade do uso fluxo para facilitar a soldagem de materiais de difícil soldabilidade, como o alumínio.

O equipamento da soldagem a gás é o mesmo do oxi-corte, com exceção do maçarico. Isso porque no oxi-corte, além da chama, é necessário o jato de oxigênio para a realização do corte, enquanto que na soldagem a gás só é necessária a chama.

Os cuidados com a segurança devem ser os mesmos pra o oxi-corte, ressaltando que se trata de uma atividade com alto risco, mas que, se tomados os devidos cuidados, terá pouco perigo de acidentes.

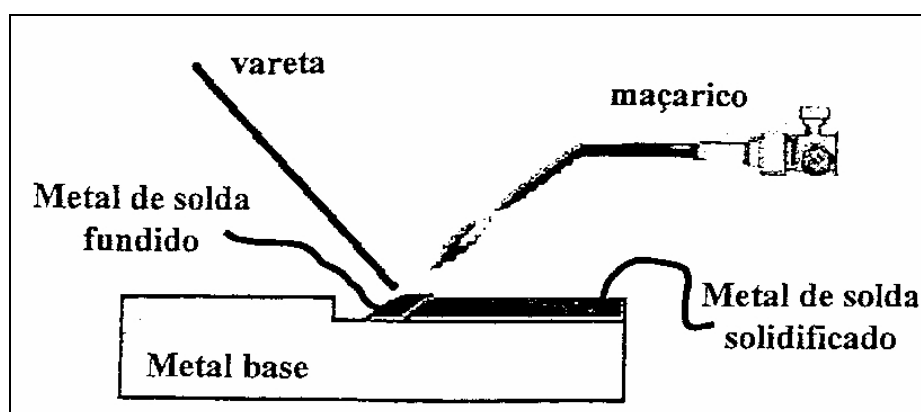



Fig 60

35.3 SOLDAGEM TIG/MIG/MAG

Os processos de soldagem TIG/MIG/MAG utilizam o mesmo principio do processo eletrodo revestido para captar energia para fundir metal de adição e peça, realizando

assim a solda: um arco voltaico entre a peça e um eletrodo. A diferença esta na forma em que a solda é protegida durante o processo. No processo com eletrodo revestido a proteção é conseguida devido ao revestimento do eletrodo enquanto que nos processos TIG/MIG/MAG a proteção é conseguida através de gases que impedem o contato da solda com o ar atmosférico durante a soldagem. Nos processos TIG e MIG esses gases são inertes (inerte gás) enquanto que no processo MAG estes gases são ativos ou mistura de gases ativos e inertes (ativo gás).

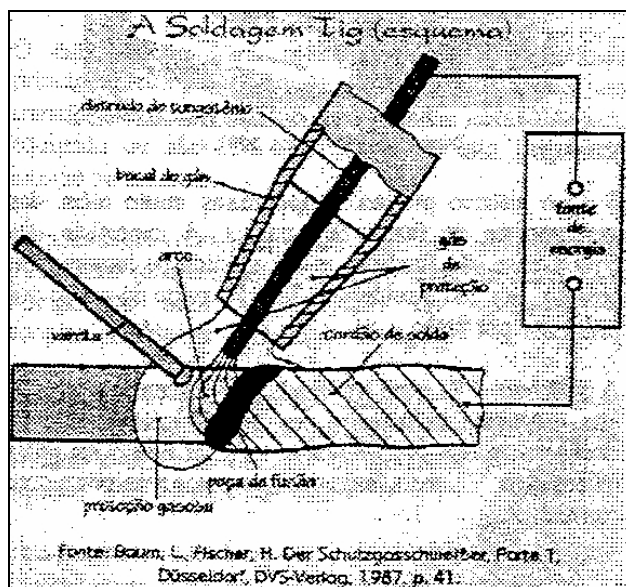



Fig 61

O processo TIG (tungstênio inerte gás) caracteriza-se por ter o eletrodo não consumível de tungstênio e o gás que protege a solda é inerte (geralmente argônio, Helio ou uma mistura deles. Entre as vantagens deste processo, podemos citar a sua capacidade de soldar tanto materiais de baixa soldabilidade como o alumínio, titânio, como um aço carbono. Alem disso, produz uma solda de boa qualidade. Porem, apresenta baixa taxa de deposição (espessura de solda pequena) e requer soldadores muito bem treinados.

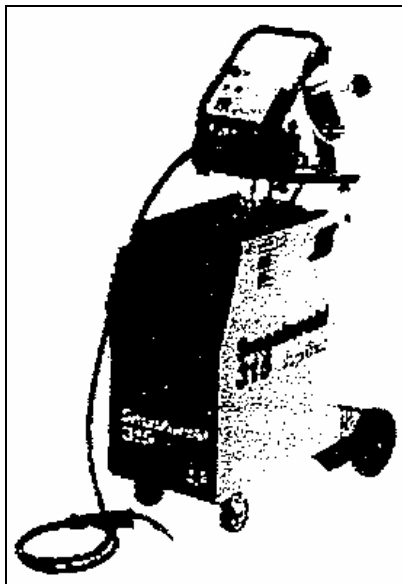



Fig 62

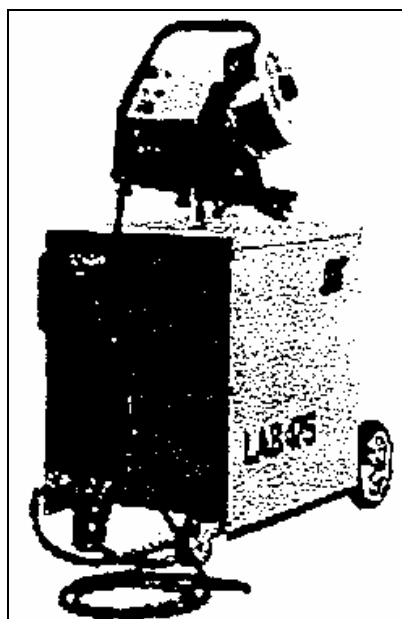



Fig. 63

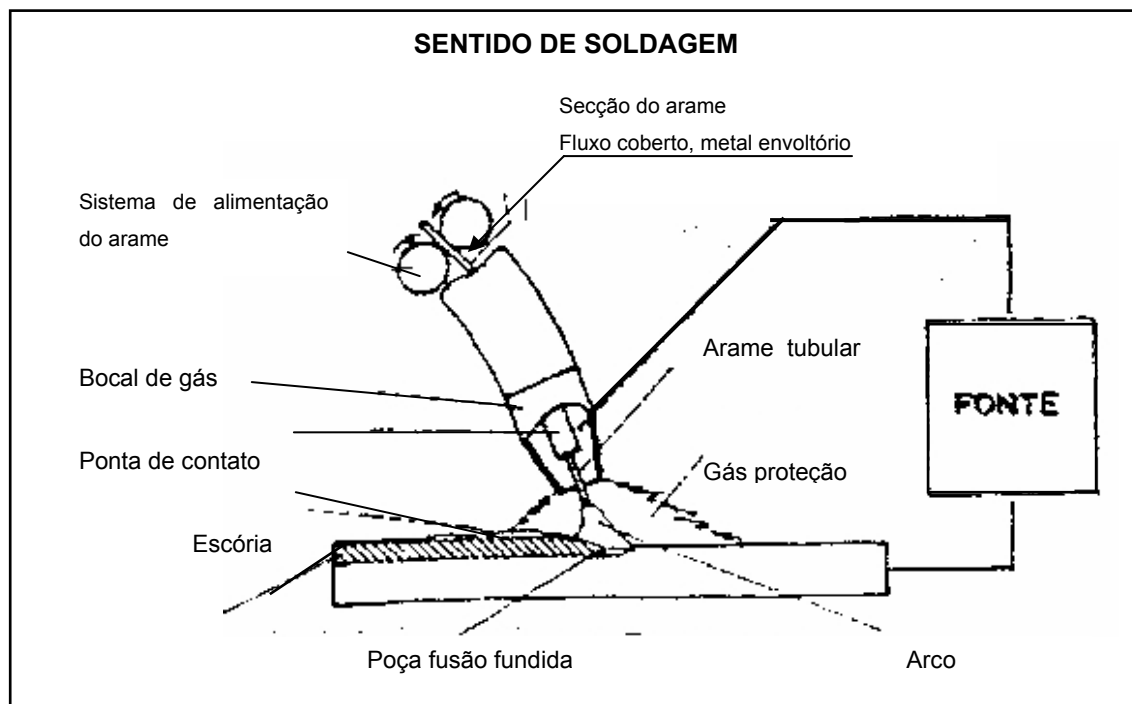



Fig. 64

Ao contrario do processo TIG, os processos MIG (metal inerte gás) e MAG (metal ativo gás) apresentam eletrodos consumíveis. No processo MIG o gás é inerte (argônio, Helio, ou mistura de argônio e oxigênio) enquanto que no processo MAG o gás é ativo ou uma mistura de gases que perdem a sua inércia (geralmente gás carbônico ou mistura deste oxigênio ou nitrogênio). As vantagens do processo são:

- Alta taxa de deposição
- Não necessita de remoção de escoria;
- Baixo teor de hidrogênio na solda (sua presença pode acarretar trincas na solda)

A maior limitação deste processo é o fato de só poder soldar na posição plana. Alem disso, pode haver problemas de falta de fusão na junta soldada.

35.4 SOLDAGEM COM ARCO BUBMERSO:

Este processo segue o mesmo principio dos processos com eletrodo revestido com TIG/MIG/MAG, que forma um arco elétrico entre a peça a ser soldada e um eletrodo que funde metal de adição e a peça, realizando a soldagem. A diferença esta na força de proteção da solda. Neste processo o arco elétrico e a peça são protegidos por uma substancia granular denominada fluxo, que exerce a mesma função do processo eletrodo revestido.

Este processo tem boa produtividade, boa taxa de deposição, bom acabamento e pode ser tanto automático como semi-automático. Entretanto é limitada a posição plana e horizontal, alem de requerer um ajuste preciso das peças a serem soldadas.

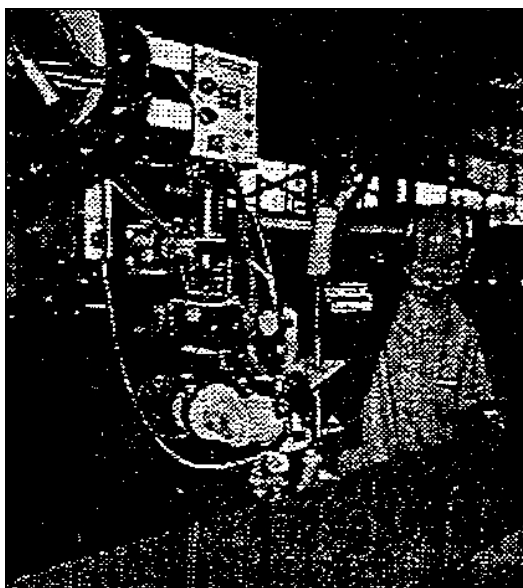



Fig 65 a

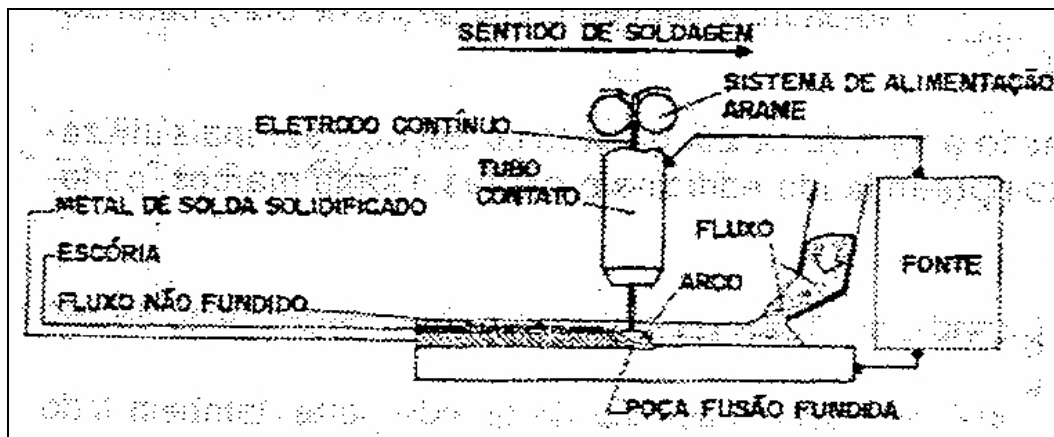



Fig 65 b

35.5 PROCESSO DE SOLDAGEM COM ARAME TUBULAR:

É um processo a arco elétrico como os já explicados anteriormente, e muito parecidos com os processo MIG e MAG. A diferença reside no fato de usar arame (que é um eletrodo consumível) tubular, onde a proteção do arco é feita por um fluxo granulado que passa internamente pelo arame, podendo ainda ser utilizada a proteção gasosa.

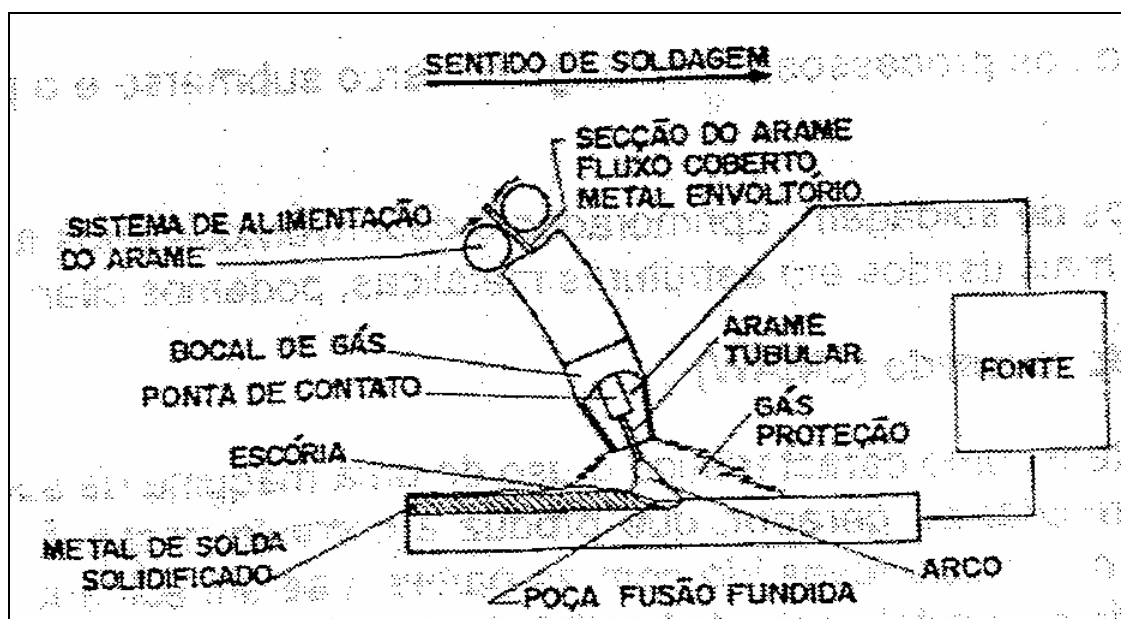



Fig. 66

36 LIGAÇÕES PARAFUSADAS

Alem das ligações soldadas, outro tipo muito comum é usado corriqueiramente nas estruturas metálicas, são as ligações parafusadas. Este tipo de união,veio juntamente com a soldagem, substituir as ligações com rebites, que caíram em desuso a partir da década de 70. as principais vantagens das uniões parafusadas são:

- Rapidez na ligação de campo
- Economia em relação ao uso de energia
- Uso de poucas pessoas e sem necessidade de serem tão qualificadas na soldagem
- Melhores respostas às tensões de fadiga

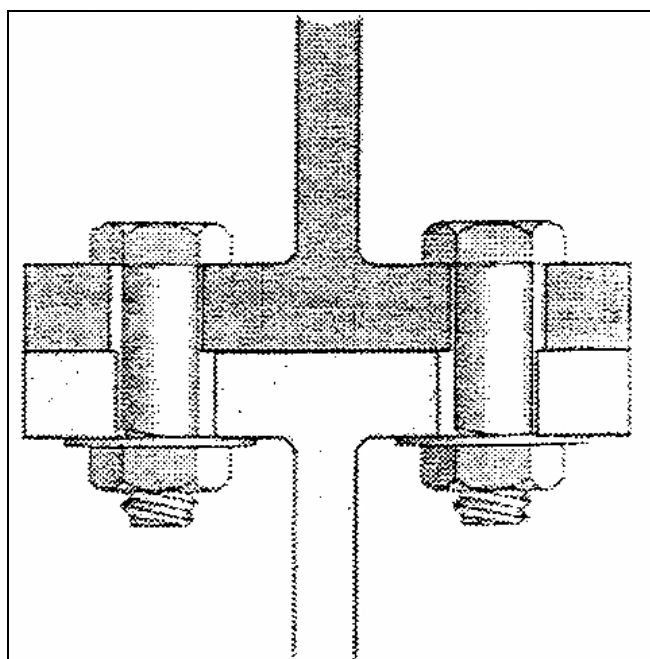



Fig 67

Entre as desvantagens podemos citar:

– Necessidade de verificação de seção liquida (seção do elemento estrutural descontando os furos), do esmagamento dos furos e do rasgamento das chapas envolvidas na rasgação.

– Necessidade, em alguns casos, da realização de uma pré-montagem de fabrica para o casamento perfeito dos furos.

Antes de comentarmos sobre os tipos de parafusos usados, estudemos o pereces de furação.

Os furos são realizados com o auxilio da furadeira. Ela pode ser portátil ou fixa. Alem da furadeira, podemos utilizar funções ou oxi-corte em alguns furos especiais.

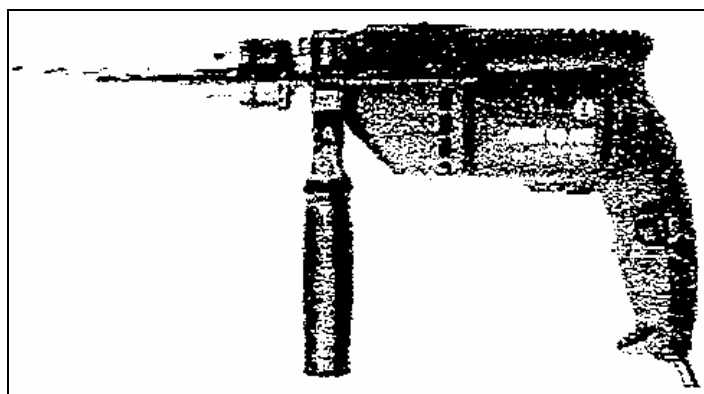



Fig 68

A velocidade de corte e o tipo de broca dependem do material da peça a cortar. Uma broca para aço não suportaria furar concreto, por exemplo. Devemos verificar também se o furo pode ser executado com um passe ou se há necessidade de mais passes intermediários para chegarmos ao diâmetro requerido ao furo. A marcação do local certo do furo com auxilio de um punção, na maioria das vezes é necessária

para se evitar marcas ou deformação da peça, devido ao deslizamento da broca e também para garantir uma melhor precisão na localização do furo.

Os tipos mais comuns de parafusos são:

- Parafusos torneados: que são pouco utilizados devido ao seu custo elevado. Eles são aplicados onde necessita-se de um alto grau de ajustagem. Geralmente são de aço SAE 1010 ou 1020;
- Parafusos comuns (ASTM-A307): que são parafusos comuns de aço carbono e de baixo custo. Entretanto possuem baixa resistência, o que restringe sua aplicação em peças com pouca solicitação de esforços ou para uso temporário.
- Parafusos de alta resistência: podem ser aplicados em peças sujeitas a altas cargas. Estes parafusos vieram substituir os rebites, pois tem resistência superior e necessitam de menos mão de obra. Os parafusos são fabricados com aço ASTM-A325 e ASTM-A490.

Alem do parafuso, temos ainda a porca e arruela completando os elementos que compõem a ligação parafusada. A arruela devera ser usada quando:

- Quando a face externa de uma das peças a serem ligadas tiver inclinação superior a 1,20;
- Sob o elemento (porca/parafuso) que gira durante o aperto, no caso dos parafusos de alta resistência ASTM A490.
- Sob o elemento (por), no caso de parafusos apertados com chave de controle de torque, no caso de parafusos de alta resistência.
- Sob o elemento que não gira durante o aperto, quando temos parafuso ASTM A 490 assentado sobre aço com limite de escoamento inferior a 2,8 tf/cm².

Ferramentas importantes no aparafusamento de peças e, as quais não se dá valor necessário, são as chaves com controle de torque, como, por exemplo, o torquimetro (fig 69). Isto porque se o parafuso não tiver o aperto suficiente, ele não estará aplicando na peça a força que foi estipulada no projeto. Se o aperto for excessivo, o parafuso pode atingir o limite de resistência elástica. Resumindo, tanto o aperto excessivo quanto a sua falta é danoso tanto para o parafuso quanto para a peça. A solução para este problema é o uso de uma chave controladora de torque.

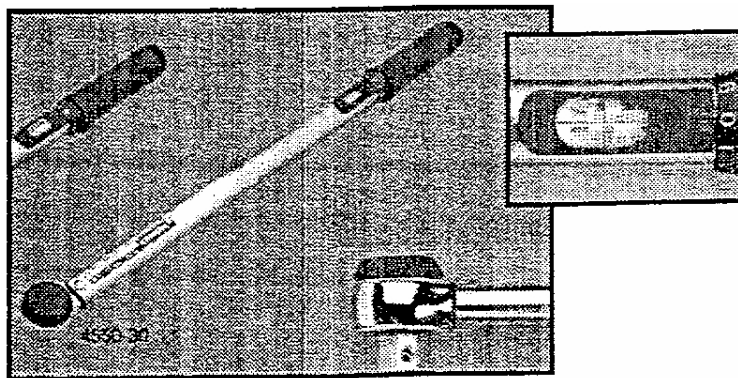



Fig 69

37 COMO ACONTECE A CORROSÃO

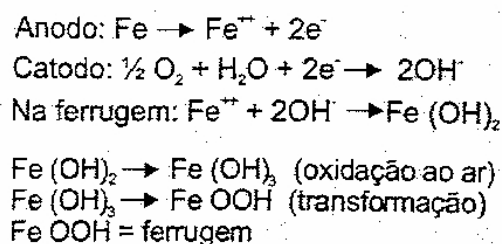
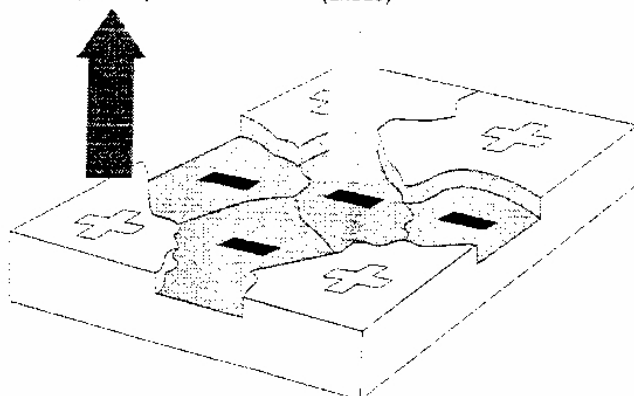
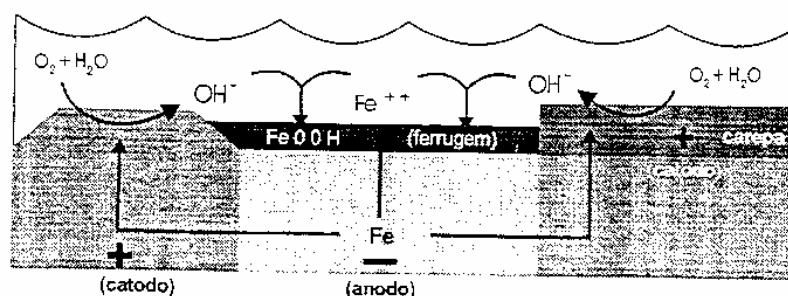
Os metais raramente são encontrados no estado puro. Eles quase sempre são encontrados em combinação com um ou mais elementos não-metálicos presentes no ambiente. Minérios são, de modo geral, formas oxidadas do metal.

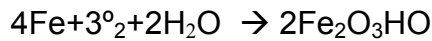
Com raras exceções, quantidades significativas de energia devem ser fornecidas aos minérios para reduzi-los aos metais puros. A fundição e conformação posterior do metal envolvem processos onde mais energia é gasta. Corrosão pode ser definida de modo bastante simplificado como sendo a tendência do metal produzido e conformado de reverter ao seu estado original, de mais baixa energia. De uma

perspectiva puramente termodinâmica, a tendência de decréscimo energético é a principal encorajadora a corrosão metálica.

A corrosão atmosférica do aço carbono é um processo eletroquímico (isto é, a corrosão do metal envolve tanto reações químicas quanto fluxo de elétrons) onde o metal reage com a atmosfera para formar um óxido ou outro composto análogo ao minério do qual ele se originou.

O quadro que descreve este processo incorpora três constituintes essenciais: o anodo, o catodo e uma solução eletricamente condutora. O nodo (-) é o local onde o metal é corroído, a solução eletricamente condutora é o meio corrosivo, e o catodo (+) é à parte da mesma superfície metálica (ou outro metal em contato com ela) que constitui o outro eletrodo da cela, e não é consumido no processo de corrosão.

Quadro descritivo

A reação global que descreve o processo de enferrujamento do aço carbono exposto ao ar é dada por:

$4Fe+3^{o}_2+2H_2O \rightarrow 2Fe_2O_3HO$

Aço + oxigênio + água = ferrugem

O processo de corrosão atmosférica do aço carbono consiste, desse modo, de elétrons fluindo dentro do metal e íons fluindo no eletrólito superficial.

A velocidade de corrosão é muito influenciada pela condutividade elétrica do eletrodo: é menor em meios pouco condutores, como a água muito pura, e maior em meios condutores, como por exemplo à água do mar ou soluções acidas.

Vários são os fatores que determinam a criação e distribuição de regiões anódicas e catódicas na superfície do metal. A existência de diferenças de composição química, de microestrutura, de concentração e velocidade de elétrons, de tensões residuais, dentre outras, determinam a formação de regiões catódicas ou anódinas.

Dois pontos importantes devem ser ressaltados:

1. Para que a corrosão do aço carbono aconteça, e necessária à presença simultânea de água e oxigênio. Na ausência de um deles, a corrosão não acontecerá.
2. Toda corrosão acontecerá no anodo, assim sendo, o catodo não sofre ataque corrosivo.

Quadro descritivo

37.1 DOIS TIPOS IMPORTANTES DE ATAQUE

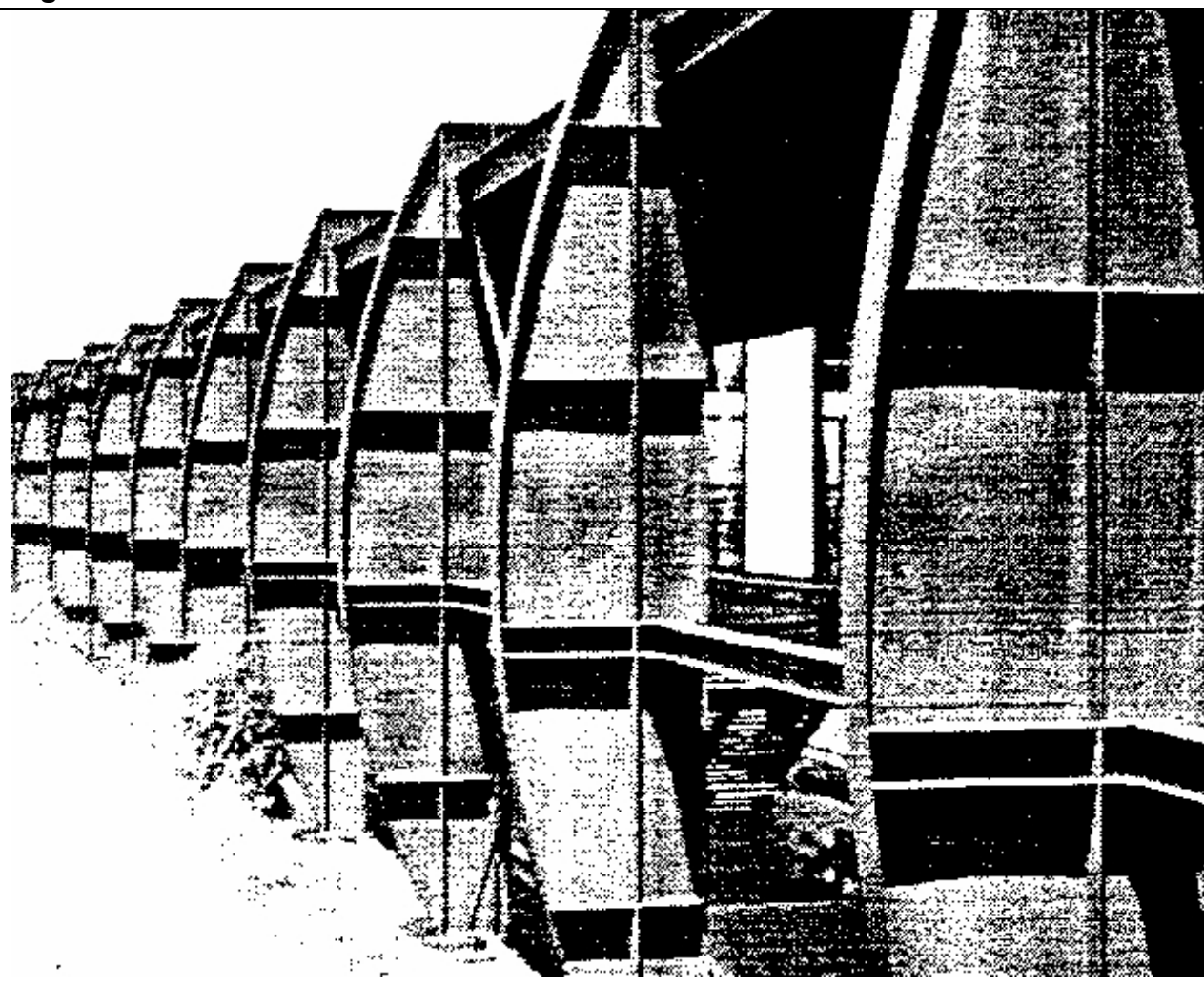
37.1.1 Corrosão uniforme

A corrosão uniforme é o fenômeno de corrosão mais importante, comum, simples e conhecido. Ela acontece em um ambiente homogêneo (na ausência de um gradiente de temperatura, de pressão ou de concentração ao longo da interface) e se refere à perda de massa generalizada por toda a superfície metálica. Aços-carbono e as ligas de cobre são bons exemplos de materiais que podem sofrer esse tipo de ataque.

A velocidade de corrosão uniforme é em geral expressa em termos de perda de massa por unidade de superfície e por unidade de tempo ou pela perda da espessura de metal corroído em função do tempo

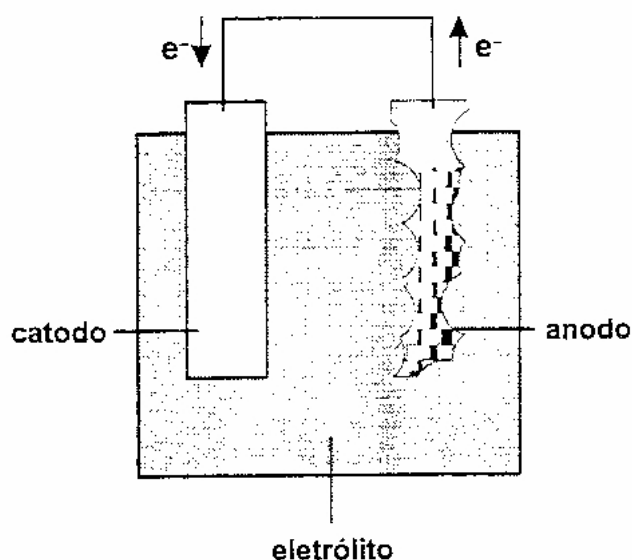
Como visto anteriormente, o mecanismo intrínseco da corrosão uniforme envolve a existência simultânea de duas reações eletroquímicas (anódica e catódica) uniformemente distribuídas pela superfície do metal.

A corrosão atmosférica é a forma mais comum de ataque generalizado e é, certamente, a que envolve os maiores esforços para sua prevenção.

Figura corrosão atmosférica

37.1.2 Corrosão galvânica

A corrosão galvânica é uma outra forma bastante comum de corrosão em meio aquoso e pode ocorres quando dois metais diferentes são conectados eletricamente em um mesmo liquido condutor de eletricidade (eletrólito), formando uma pilha. Enquanto um dos metais se elétrons ao outro se corrói (anodo), o outro metal fica protegido, e não sofre ataque (catodo).

Vários fatores determinam a existência potencial da corrosão galvânica: a diferença de potencial eletroquímico num dado meio particular, a existência de eletrólito (por exemplo, chuvas ácidas contendo dióxido de enxofre, típicas de ambientes industriais e centros urbanos), a existência de conexão elétrica entre os metais e a razão de áreas entre os metais em questão.

Corrosão atmosférica

Diferentes metais e ligas podem ser ordenados com respeito à resistência frente à corrosão de um dado meio particular. Estas tabelas, conhecidas como séries galvânicas, são obtidas experimentalmente. O quadro descritivo reproduzido na próxima página foi constituído utilizando-se como eletrólito a água do mar mantida a 25°C.

Metais situados no topo do quadro se corroem quando conectados aqueles situados na base desta e imersos em um mesmo eletrólito. Enquanto os primeiros se corroem de modo pronunciado, os últimos são protegidos eletroquimicamente.

O ordenamento dos metais varia com o eletrólito, mas, de modo geral, as mudanças são pequenas, e o quadro pode ser usado em variadas atmosferas.

Por exemplo, a união de duas chapas de aço inoxidável por intermédio de um parafuso de aço carbono poderá causar uma rápida deterioração do parafuso.

Como é, por muitas vezes, impossível eliminar o eletrólito e o contato elétrico entre metais diferentes, a melhor maneira de se evitar este tipo de ataque é através da pintura. Alem disso, tintas anticorrosivas possuem pigmentos que modificam o eletrólito que por ventura permeia a camada de tinta, minimizando em muito a corrosão metálica. Outra forma usual de proteção é frita através da utilização, onde possível, de fitas adesivas especialmente desenvolvidas para a minimização de efeitos galvânicos.

Para que a corrosão galvânica ocorra é necessário que existam três condições concomitantes:

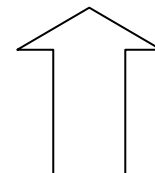
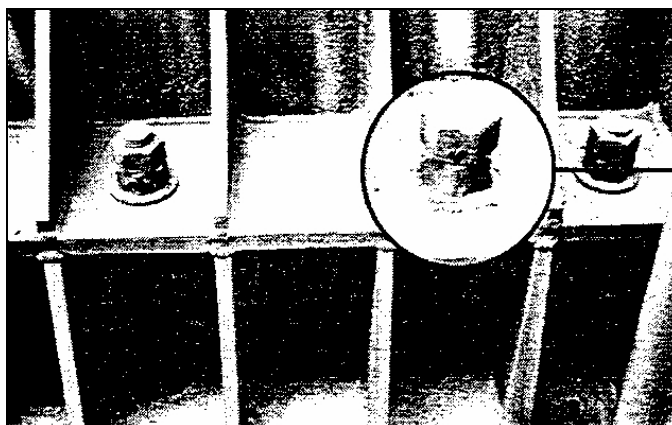
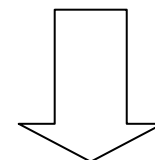
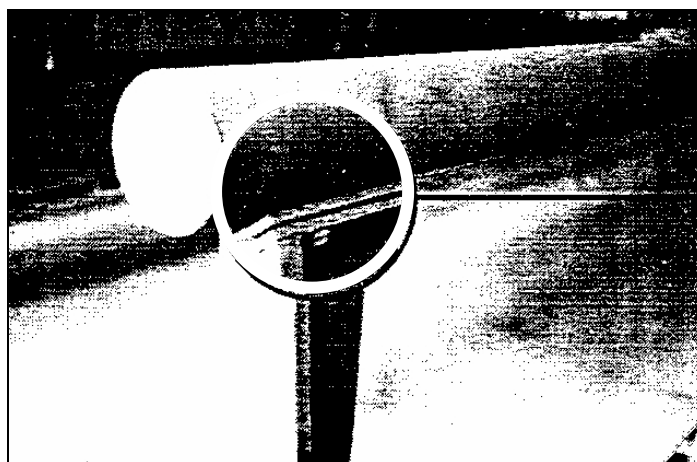
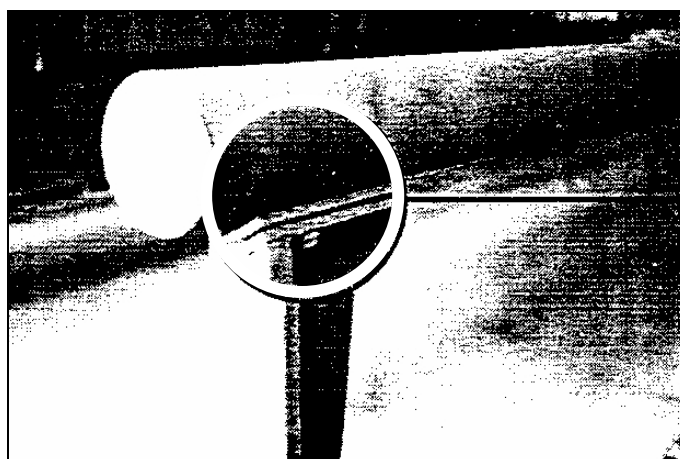
1. Metais diferentes
2. Presença de eletrólito
3. Contato elétrico entre os dois metais

Se uma das três condições não ocorrer, não haverá corrosão galvânica.

Quadro descritivo

ANÓDICO
(MAIS SUSCEPTÍVEL A CORROSÃO)

Magnésio e suas ligas
Zinco
Aço galvanizado
Alumínio
Cádmio
Ferro fundido
Chumbo
Latões
Bronze
Cobre
Ligas de cobre-níquel
Aço inoxidável, tipo 410
Aço inoxidável, tipo 304
Aço inoxidável, tipo 316
Titânico

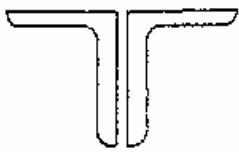
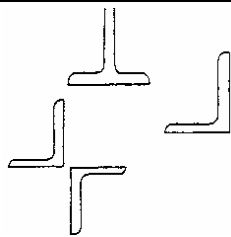
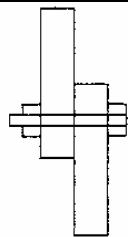
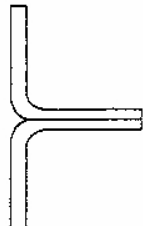
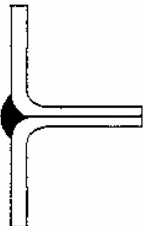
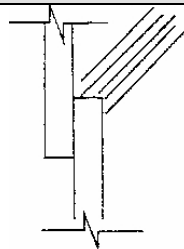
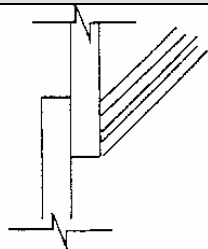
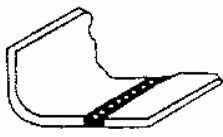
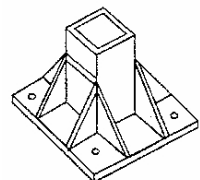
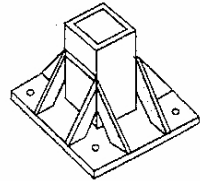
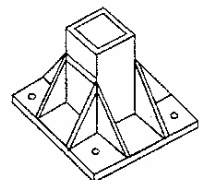
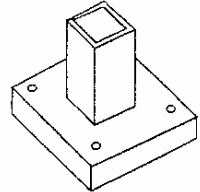
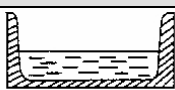
CATÓDIGO
(MAIS RESISTENTE À CORROSÃO)

O metal situado no topo da tabela corrói, protegendo o metal situado na base desta.

Corrosão Galvânica: todo o conjunto é feito em aço patinável, menos uma arruela que sofre intenso ataque.

O Corrimão de aço inoxidável está preso ao suporte de aço carbono.
O conjunto está localizado dentro de um túnel (na há água condensada presente).
Não há corrosão galvânica.

O corrimão exposto ao tempo apresenta corrosão no aço carbono.
A existência de eletrólito propicia corrosão galvânica.

37.2 COMO PREVENIR A CORROSÃO

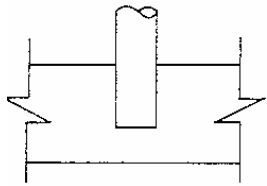
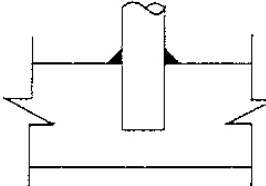
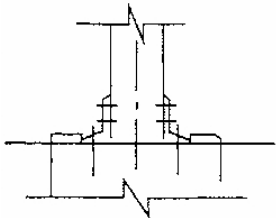
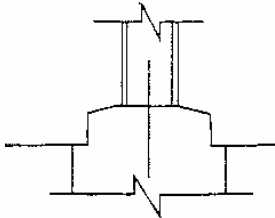
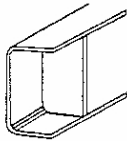
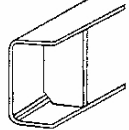
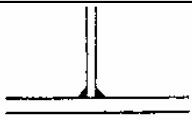
37.2.1 A prevenção começa na etapa de projeto

O principal objetivo do engenheiro e do arquiteto é fornece à obra um projeto adequado com respeito à função, fabricação e resistência mecânica. Muitas construções estarão localizadas em regiões onde o ambiente é mais agressivo, o que significa atenção às medidas de proteção. Como o custo do controle da

corrosão é muito dependente do seu projeto, o engenheiro deve sempre incluir o aspecto da prevenção da corrosão em seu trabalho.

De modo geral, é difícil proteger uma estrutura metálica através da pintura (ou outro tratamento da superfície) se ela for inadequadamente projetada sob o ponto de vista da corrosão.

O meio mais eficiente e mais barato de evitar a corrosão é projetar corretamente a obra, não favorecendo o ataque corrosivo.

Uma construção econômica é aquela que apresenta os menores custos totais ao longo de sua vida. Custos de manutenção, particularmente a pintura de manutenção, constituem parte importante do custo total. Assim a construção mais barata pode não ser a mais econômica.

As figuras a seguir fornecem certo numero de exemplos validos para os engenheiros e arquitetos que projetam edifícios.

Simplifique as formas!

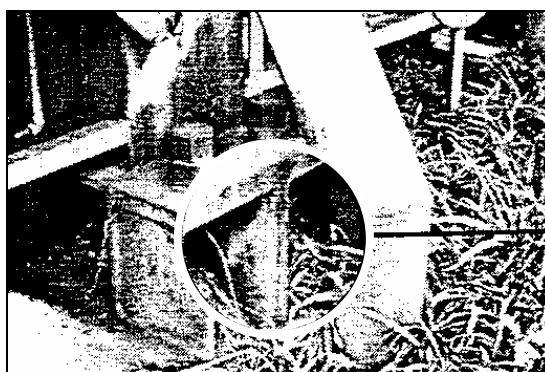
Quanto mais simples a forma dada à construção, maiores as chances de que uma boa proteção frente à corrosão seja alcançada.

PROBLEMA	SOLUÇÃO TÍPICA	PROBLEMA	SOLUÇÃO TÍPICA
UMIDADE E SUJEIRA PODEM SE ACUMULAR NA FENDA	OTILIZE PERFIL T OU OUTRA FORMA GEOMÉTRICA	UMIDADE PENETRA NA FENDA	UTULIZAE CODÃO DE SOLDA OU SELANTE
CORROSÃO POTENCIAL(FRESTA)	ELIME SOLDA POR SELANTE OU CORROSÃO(EPOXI OU POLIURETANO)	CONDIÇÃO DESFAVORÁVEL	CONDIÇÃO FAVORÁVEL
CCANTOS VIVOS E SOLDA DESCONTÍNUA	CANTOS ARREDONDADOS E SOLA CONTÍNUA	REFORÇOS CRIAM ACÚMULO DE ÁGUA E SUJEIRA	ELIMINE O ACÚMULO DE ÁGUA E SUJEIRA
CUIDADO COM O ACÚMULO DE ÁGUA E SUJEIRA	CRIE SITUAÇÕES QUE EVITEM O ACÚMULO DE ÁGUA E SUJEIRA		

37.2.2 Evite umidade residual

Como já visto anteriormente, a corrosão não ocorre na ausência de umidade. Uma das tarefas mais importantes do engenheiro será a de garantir que a construção esteja protegida da umidade tanto quanto possível. Os perfis devem ser dispostos de modo que a umidade não fique retida e que a construção posso ser devidamente pintada. Evite a criação de cavidades; juntas parafusadas são preferíveis às soldadas em campo, que necessitam de controle e testes. Deve-se criar condições para que, uma vez que a umidade tenha se depositado, possa secar.

PROBLEMA	SOLUÇÃO TÍPICA	PROBLEMA	SOLUÇÃO TÍPICA
UMIDADE E SUJEIRA PODEM SE ACUMULAR NA FENDA	USE SELANTE PARA DIFICULTAR O INGRESSO DA ÁGUA	ÁGUA RETIDA	NÃO ACUMULA ÁGUA
		SOLDA NA BASE CRIA FRESTA	DEIXE FURO PARA DRENAGEM
A CHAPA DA BASE E OS CHUMBADORES RESULTAM EM RETENÇÃO DE ÁGUA	A CHAPA DE BASE ACIMA DO SOLO SBRE BASE DE CONCRETO PROMOVE A PROTEÇÃO INCLINAÇÃO PARA A DRENAGEM DA ÁGUA	ENRIJECEDORES IMPEDEM A DRENAGEM	DEIXE FURO PARA DRENAGEM
		CRIAÇÃO DE FRESTA	EMLIMINAÇÃO DE FRESTA

A água fica coletada aqui

A água fica coletada aqui

A água fica coletada aqui

37.2.3 Considere o risco da corrosão galvânica

Para que ocorra o efeito galvânico, as seguintes condições devem ser preenchidas:

– Os metais devem estar distantes na serie eletroquímica

– Os metais devem estar em contato direto um com o outro

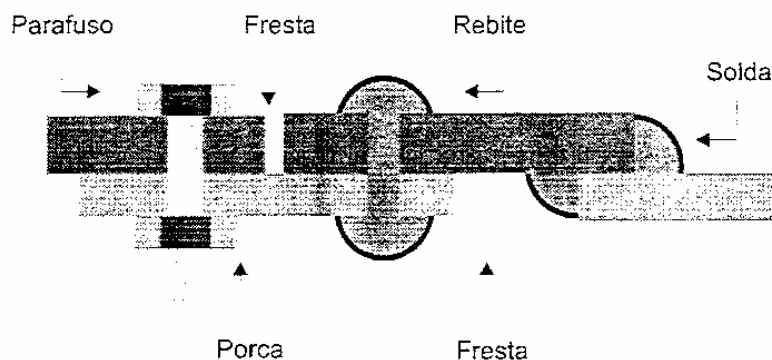
– Ambos os metais devem estar em contato com a mesma solução eletrolítica

– A solução deve conter oxigênio dissolvido (ou ácido), para manutenção do processo catódico.

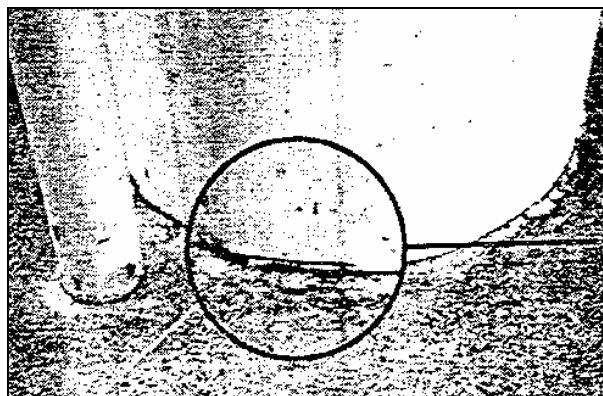
É função do projetista fazer com que pelo menos uma destas condições não ocorra. Sempre que possível, diferentes metais e ligas não devem ser unidos diretamente, principalmente se estiverem situados em locais diferentes na série galvânica (veja no quadro abaixo). Os efeitos galvânicos podem ser esperados se a diferença de potencial entre os metais for superior a 0,05V. O método mais comum de controle da corrosão galvânica é o da colocação de um isolante elétrico entre os dois metais. Deve-se ressaltar que o isolante não deve ser poroso, pois poderia acarretar corrosão por frestas.

Parafusos, arruelas, porcas e rebites são sensíveis à corrosão por terem composição química diferente das dos aços que unem, e assim podem propiciar a formação de pares galvânicos. A escolha correta destes componentes minimizar em muito este tipo de problema.

Série Galvânica em água do mar (25º)
ANÓDIO (MAIS SUSCEPTÍVEL À CORROSÃO)
Magnésio e suas ligas
Zinco
Aço galvanizado
Alumínio
Cádmio
Ferro fundido
Chumbo
Latões
Bronzes
Cobre
Ligas cobre-níquel
Aço inoxidável, tipo 410
Aço inoxidável, tipo 304
Aço inoxidável, tipo 316
Titânio
CATÓDICO (MAIS RESISTENTE À CORROSÃO)

Quadro descritivo

Utilize sempre eletrodos, porcas, arruelas e parafusos de especificação compatível com seu material. A tabela abaixo fornece a especificação genérica de parafusos para união de aços ASTM A 36, ASTM A 572 e ASTM A 588. Observe que, quando a obra empregar aços resistentes à corrosão (ASTM A 588), deve-se empregar parafusos que tenham essas mesmas características. Não se recomenda a utilização de parafusos e porcas galvanizadas sem pintura em estruturas de aço carbono comum ou patináveis expostos à atmosfera ou sob condições de condensação de umidade. A diferença de potencial eletroquímico entre o revestimento de zinco e o aço pode ocasionar uma corrosão acelerada da camada de zinco.

AÇO	ESPEFIFICAÇÃO	RESITÊNCIA À RUPTURA
ASTM A 36	ASTM A 307	41,5 kN/cm^2
ASTM A 572	ASTM A 328 TIPO 1	82,5 kN/cm^2 para diâmetro < 25,4 mm 72,5 kN/cm^2 para diâmetro < 25,4 mm
ASTM A 572	ASTM A 325 TIPO 3	82,5 kN/cm^2 para diâmetro < 25,4 mm 72,5 kN/cm^2 para diâmetro < 25,4 mm

Frestas, cordões de solda e uniões parafusadas são regiões particulares da estrutura q merecem atenção especial. A fotografia abaixo ilustra uma fresta.

Frestas promovem a corrosão

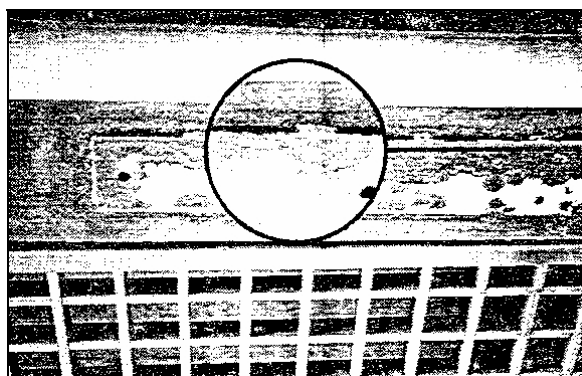
37.2.4 Soldagem

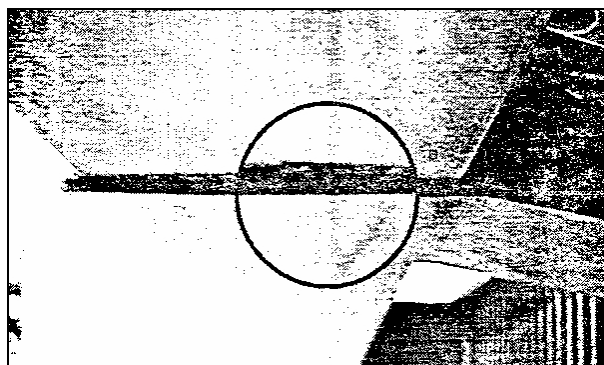
Melhor será a soldagem quanto menor a quantidade de bolsões e fissuras não devera haver escoria superficial, pois ela propiciara o desenvolvimento da corrosão sob a camada de tinta. É muito comum que o eletrodo tenha uma composição diferente da liga que esta sendo soldada, pois este é aplicado a grandes grupos de aços similares. Isto pode acarretar uma diferença de potencial (nem sempre desprezível) entre o metal de solda e o metal base. As considerações feitas para corrosão galvânicas entre metais diferentes se aplicam integralmente a essa situação.

O processo de resfriamento do cordão de solda também pode resultar em diferenças de potencial devido às diferenças de tratamento térmico entre um metal de solda e um metal base.

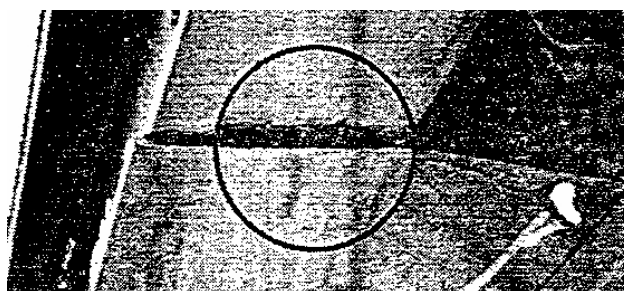
Através da seleção de um eletrodo que seja um pouco mais nobre que o metal de base podemos obter uma combinação favorável de pequenos catodos (o cordão de solda) e grandes anodos (o metal de base). Muitos dos problemas são eliminados, deste modo, particularmente em eletrólitos de alta condutividade: a corrosão do metal de base será distribuída por uma área muito maior do que a área (protegida galvanicamente) do cordão de solda (que não corroerá).

Sempre que possível essas regiões devem ser jateadas, ou pelo menos alisadas com discos abrasivos ou esmeril. A tinta deve ser esfregada cuidadosamente com pincel, ande de cada demão normal a ser aplicada, produzindo um reforço de pintura.

A fotografia abaixo mostra a necessidade, na etapa de construção da estrutura, de um reforço de pintura nos cordões de solda.

Construção da estrutura.
Cordões de solda

Este reforço de dar antes da aplicação da tinta de fundo, é feito através da pintura detalhada, com pincel, das áreas envolvidas na soldagem, com um primer contendo pigmentos anticorrosivos.

Frestas devem ser eliminadas.
Soldas devem ser contínuas.

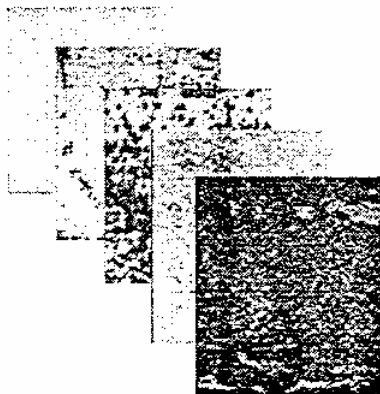
Frestas devem ser eliminadas sempre que possível, pois acumulam eletrólitos e impedem o preparo de superfície, a pintura inicial e a manutenção posterior.

Soldas devem ser continuas, evitando a criação de “bolsões” de acumulo de eletrólitos.

Corrosão nas frestas

37.2.5 Preparo de superfície

O aquecimento do aço carbono a temperaturas situadas entre 575°C e 1370°C provoca a formação de uma camada de óxidos denominada carepa de laminação. Esta película e formada por três camadas de óxidos sobrepostos: wustita (FeO), magnetita (F_3e_4O) e hematita (F_2eO_3).

Placas, tarugos, blocos, chapas, perfis e outros produtos conformados de aço são laminadas em temperaturas pouco superiores a 1000°C. A carepa formada e uma película cinza-azulada, muito dura, recobrem completamente o aço. A espessura da carepa pode variar de 100μm a 10000μm. Devido ao fato de que a carepa possui coeficiente de dilatação diferente daquele do aço, ela acaba se trincando durante os ciclos de aquecimento e resfriamento, permitindo a penetração de água e oxigênio. A presença de eletrólitos causa a formação de uma pilha, onde o metal é oxidado e a reação de redução do oxigênio acontece sobre a carepa. Depois de algum tempo de ataque, a ferrugem progride por baixo da carepa, expulsando-a da superfície do aço.

Quadro descritivo

A seqüência abaixo mostra a evolução típica da degradação da carepa, causada pela corrosão do substrato metálico.

Quadro descritivo

A carepa, como visto, não protege o aço da corrosão atmosférica ela precisa ser removida antes de se iniciar o processo de pintura, pois uma vez trincada, ela reterá os constituintes necessários ao processo corrosivo. A pintura sobre a carepa não evitará que o processo de corrosão continue. A ferrugem se expandirá e terminara com a ruptura da película de tinta.

Alem da carepa de laminação, outros contaminantes presentes prejudicarão a aderência das tintas, tais como pós, ferrugem, terra, óleos, graxas, suor e sais.

A necessidade de grau mínimo de limpeza superficial varia de acordo com o tipo de tinta a ser aplicada e com as condições a que estas ficaram expostas.

A norma mais citada e empregada no Brasil para a preparação da superfície do aço é a norma sueca SIS 05 59 00-1967 "Graus de Enferrujamento da superfície de aço laminado a quente e graus de preparo destas superfícies para aplicação de revestimentos anticorrosivos".

Esta norma foi elaborada pelo Instituto Sueco de Corrosão, de acordo com o American Society for Testing and Materials (ASTM) e o Steel Structured Paint Councik (SSPC), dos EUA.

Os padrões de grau de corrosão são definidos através de fotografias do estado de intemperismo em que o aço encontra para pintura:

a) Superfície com carepa de laminação ainda intacta.

b) Superfície com carepa de laminação se destacando e com presença de ferrugem

c) Superfície com corrosão generalizada e com pontos profundos de corrosão (pites)

Os padrões de grau de limpeza também são definidos através de fotografias do estado em que as superfícies ficam após o tratamento de limpeza

– St 2 limpeza manual, executada com ferramentas manuais como escovas, raspadores, lixas e palhas de aço.

– St 3 Limpeza mecânica executada com ferramentas mecanizadas como escovas rotativas pneumáticas ou elétricas.

– As 1 É um jato ligeiro (brush off). A superfície resultante devera encontrar-se inteiramente livre de óleos, graxas e materiais como carepa, tinta e ferrugem soldas. A carepa e a ferrugem remanescentes poderão permanecer, desde que firmemente aderidas. O metal deverá ser exposto ao jato abrasivo por tempo suficiente para provocar a exposição do metal base em vários pontos da superfície sob a camada de carepa.

– Sa 2 Chamado de jato comercial. A superfície resultante do jateamento poderá apresentar manchas e pequenos resíduos devido a ferrugem, carepa e tinta. Pelo menos 2/3 da área deverá estar isenta de resíduos visíveis, enquanto o restante será limitado pelas manchas e resíduos.

– Sa 2 ½ Chamado de jato ao metal quase branco. É definida como superfície livre de óleo, graxa, carepa, ferrugem, tinta e outros materiais, podendo apresentar pequenas manchas claras devidas a resíduos de ferrugem, carepa e tinta. Pelo menos 95% da área devera estar isenta de resíduos visíveis, sendo o restante referente aos materiais acima mencionados.

– Sa 3 Conhecido como jato ao metal branco. Após a limpeza, o aço devera exibir cor metálica uniforme, branco-acinzentada, sendo removidos 100% de carepas e ferrugem. A superfície resultante estará livre de óleos, graxas, carepa, tinta, ferrugem e de qualquer outro deposito.

A superfície metálica deverá ser previamente lavada com água e tensoativos neutros, esfregando-se com uma escova de nylon. Após a lavagem, secar a superfície naturalmente ou com ar comprimido limpo (isento de óleo) e seco. Esta providencia é necessária, pois as operações de escovamento e jato não removem óleos, gorduras e sais da superfície.

MÉTODO DE PREPARO	NORMA SUECA SIS 055900-67	NORMA SSPC	NORMA PETROBRAS	NBR	ISO 8501-1	NORMA NACE RM-01-70	NORMA BS BS-4232-67
Com ferramentas mecânicas							
Limpeza manual	St 2	SSPC-SP2	N-6	7346	St 2		
Limpeza motorizada	St 3	SSPC-SP3	N-7	7347	St 3		
Com jato abrasivo			N-9				
Ligeiro (Brush-off)	Sa 1	SSPC-SP7	Sa 1	7348	Sa 1	NACE-4	Brush-off
Comercial	Sa 2	SSPC-SP6	Sa 2	7348	Sa 2	NACE-3	3ª CLASSE
Metal quase branco	Sa 2 ½	SSPC-SP10	Sa 2 ½	7348	Sa 2 ½	NACE-2	2ª_CLASSE
Metal branco	Sa 3	SSPC-SP5	Sa 3	7348	Sa 3	NACE-1	1ª CLASSE
Outros métodos							
Limpeza com solventes		SSPC-SP1	N-5				
Limpeza a fogo		SSPC-SP4					
Decapagem química		SSPC-SP8					
Intemperismo e jato abrasivo		SSPC-SP9	N-11				

O método do jateamento é muito empregado na pintura industrial, sendo também muito comum nos fabricantes de estruturas metálicas. Ela é feita através do impacto de partículas, geralmente abrasivas, impelidas a alta velocidade contra a superfície a ser limpa. Esta técnica possui duas grandes vantagens:

- Elimina todas as impurezas superficiais, permitindo o contato do revestimento com o substrato.
- Confere rugosidade a superfície, permitindo a ancoragem do revestimento.

Diversos materiais podem ser utilizados como abrasivos: areia, granalha de aço (esférica e angular), vidro, ferro fundido e outros.

A areia é um agente abrasivo mais utilizado em campo, onde jateamento é feito a céu aberto e não há preocupação em se recuperar o abrasivo (a areia é utilizada no Maximo 2 vezes). A areia promove o maior tipo de rugosidade para a ancoragem, pois tem ação simultânea de corte e impacto. A areia deve produzir uma rugosidade no metal que corresponda a cerca de ¼ a ⅓ da espessura total da película seca do revestimento.

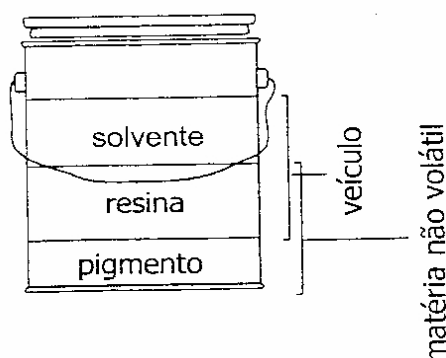
A granalha é normalmente utilizada em cabines fechadas. Ela é feita de aços especiais, muito duros. O formato de suas partículas pode ser redondo (shot) ou angular (grit). As redondas podem ser recicladas até 450 vezes e deixam um perfil bastante arredondado. As angulares podem ser recicladas até 350 vezes e deixam um perfil anguloso e irregular.

37.2.6 Tintas

A pintura é o principal meio de proteção das estruturas metálicas

Tintas são suspensões homogêneas de partículas sólidas (pigmentos) dispersas em um liquido (veiculo), em presença de componentes em menores proporções, chamados de aditivos.

Os pigmentos são pós-orgânicos ou inorgânicos finamente divididos (aprox. 5μm de diâmetro). Em suspensão da tinta liquida, são aglomerados pela resina após secagem, formando uma camada uniforme sobre o substrato. Os pigmentos promovem a cor, opacidade, coesão, e inibição do processo corrosivo, e também a consistência, a dureza e resistência da película.

Quadro descritivo

Os pigmentos anticorrosivos mais utilizados nas tintas de proteção ao aço carbono são:

- Zarcão: um dos pigmentos mais antigos utilizados na proteção do aço, tem coloração laranja. Ele tem características alcalinas (neutraliza compostos ácidos) e oxidante (íons solúveis, como o íon ferroso é oxidado a férricos insolúveis). O zarcão é tóxico pois o chumbo é um metal pesado
- Fosfato de zinco: é um pigmento que, em contato com água, dissolve-se parcialmente, liberando os anions fosfato que passivam localmente a superfície do aço, formando fosfatos de ferro.
- Zinco metálico: é utilizado o zinco metálico de alta pureza disperso em resinas epoxidicas ou etil silicato. As tintas ricas em zinco são também chamadas de "galvanização a frio", e conferem proteção catódica ao substrato de aço (o zinco se corrói, protegendo o aço, processo idêntico à proteção auferida pela galvanização tradicional). Um risco na pintura e o zinco começarão a se corroer, protegendo o aço.
- Cromato de zinco: é um pigmento amarelo, parcialmente solúvel em água que, assim como fosfato de zinco, passiva localmente a superfície do aço, pela precipitação de cromatos de ferro. Este pigmento é tóxico, pois o cromo é um metal pesado.
- Óxido de ferro: é um pigmento vermelho que não tem nenhum mecanismo de proteção anticorrosiva por passivação, alcalinização ou proteção catódica. Entretanto, por ser sólida e maciça, a partícula atua como barreira a difusão de espécies agressivas, como água e oxigênio. Este pigmento é muito utilizado nas tintas de fundo, não é tóxico, tem bom poder de tingimento e apresenta boa cobertura.
- Alumínio e outros: o alumínio lamelar e outros pigmentos também lamelares tais como mica, talco, óxido de ferro, micáceo e certos caulins atuam pela formação de folhas microscópicas sobrepostas, constituindo uma barreira que dificulta a

difusão de espécies agressivos. Quanto melhor a barreira, mais durável será a tinta. A junção de resinas bastante impermeáveis com pigmentos lamelares oferece uma ótima barreira contra a penetração dos agentes agressivos.

Os solventes têm por finalidade dissolver a resina e, pela diminuição da viscosidade, facilitam a aplicação da tinta. Os solventes mais comuns utilizados em tintas são os líquidos orgânicos e água.

Os ligantes mais comuns são as resinas e os óleos, mas também podem ser inorgânicos, como silicatos solúveis. Ele tem a função de envolver as partículas de pigmento e mantê-las entre si e o substrato. A resina proporciona impermeabilidade, continuidade e flexibilidade a tinta, alem de aderência entre esta e o substrato. As resinas se solidificam através da simples evaporação do solvente ou pela polimerização, com ou sem a intervenção do oxigênio do ar. Em alguns casos, a resina é frágil e não possui boa aderência nestes casos, adicionam-se os chamados plastificantes, que, não sendo voláteis, permanecem na película após a secagem.

37.2.7 Classificação das tintas

Como visto anteriormente, as tintas são compostas, de modo geral, de pigmentos dispersos em uma resina particular, solubilizada em uma mistura de solventes. Assim sendo, como o numero de possibilidades de composição é relativamente limitado, as tintas podem ser classificadas em grupos que apresentam semelhanças. As classificações mais comuns das tintas são feitas pelo tipo de resina empregada ou pigmento utilizado.

As tintas de fundo, conhecida como primers, são costumeiramente classificados de acordo com o principal pigmento anticorrosivo participamente, enquanto que as

tintas intermediárias e de acabamento são usualmente classificadas de acordo com a resina empregada, como pr exemplo, epoxídicas, acrílicas, alquídicas, etc.

Os tipos de tintas mais importantes para a proteção do aço carbono, tendo como classificação o tipo de resina, são:

- Alquidicas: conhecidas como esmaltes sintéticos, são tintas monocomponentes de secagem ao ar. São utilizados em interiores secos e abrigados, ou em exteriores não poluídos. Como as resinas utilizadas são saponificáveis, não resistem ao molhamento constante ou a imersão em água.
- Epoxídicas: são tintas bicomponentes de secagem ao ar. A cura se dá pela reação química entre os dois componentes. O componente A é, em modo geral, a ba se resina epoxídica, e o B, o agente de cura, pode ser à base de poliamida, poliamina ou isocianato alifático. São mais impermeáveis e mais resistentes aos agentes químicos do que as alquidicas. Resistem a umidade, imersão em água doce ou salgada, lubrificantes, combustíveis e diversos produtos químicos. As epoxidicas a base de água tem a mesma resistência daquelas formuladas a base de solventes orgânicos. Não são indicadas para a exposição ao interperismo (ação do sol e chuva), pois desbotam e perdem o brilho (calcinação).
- Poliuretânicas: são tintas bicomponentes em que o componente A é baseado em resina de poliéster ou resina acrílica, e o B, o agente de cura, é a base de isocianato alifático. As tintas poliuretânicas são bastante resistentes ao intemperismo. Assim, são indicadas para pintura de acabamento em estrutura expostas ao tempo. São compatíveis com primers epoxidicos e resistem por muitos anos com menor perda da cor e do brilho original.
- Acrílicas: são tintas monocomponentes a base de solventes orgânicos ou de água, e assim, como as tintas poliuretâmicas, são indicadas pra pinturas de acabamento.

As tintas de fundo são aplicadas diretamente sobre a superfície metálica limpa. Sua finalidade é a de promover aderência do esquema ao substrato, e contém, costumeiramente, pigmentos inibidores de corrosão. Elas são utilizadas para proteção dos aços estruturais, e são classificados de acordo com os pigmentos inibidores adicionados em sua composição. Como exemplos, temos as tintas de fundo base de fosfato de zinco, zinco metálico ou de alumínio.

As tintas de fundo são formuladas com altos teores de pigmentos , e por isso , são semibrilhantes ou foscas.

Cada um destes pigmentos inibidores pode ser incorporado em uma certa variedade de ligantes, gerando, por exemplo, tintas de fundo alquidicas a base de fosfato de zinco, tintas epoxidicas a base de fosfato de zinco, etc.

Tintas intermediárias não possuem as mesmas propriedades das tintas de fundo anticorrosivas, mais auxiliam na proteção, fornecendo espessura ao sistema de pintura empregado (proteção por barreira). De modo geral, quanto mais espessa que cama seca, maior a vida útil do revestimento, assim, varias demãos poderão ser aplicadas, até que se atinja a espessura adequada.

Tintas intermediárias e de acabamento são, normalmente, classificadas de acordo com seus ligantes, como por exemplo, as expoxidicas, vinilicas, poliuretanicas, etc.

As tintas de acabamento têm a função de proteger o sistema contra o meio ambiente, e também dar a cor e o brilho adequados. Elas devem ser resistentes ao intemperismo, a agentes químicos e ter cores estáveis. De modo geral, são tintas brilhantes com boa resistência a perda de cor e brilho.

As várias camadas de pintura devem, naturalmente, ser compatíveis entre si. Eles podem pertencer à mesma família ou podem ser muito diferentes. Uma precaução que sempre deve ser adotada é de todas as tintas do sistema devem preferencialmente pertencer ao mesmo fabricante. Isso minimizará a possibilidade de ocorrência futura de defeitos tais como a delaminação (deslocamento).

Os aditivos melhoram certas propriedades especificas das tintas. Existem aditivos antinata, secantes, plastificantes, antimofo, anticedimentante, nivelante, tixotrópicos, etc.

Um mesmo aço, pintado com tipos diferentes de tintas, pode apresentar comportamento muito diferenciado quando exposto ao mesmo meio agressivo.

Esta diferença pode ser explicada admitindo-se que as tintas empregadas tenham deferentes mecanismos de aço contra a corrosão. Estes mecanismos, de maneira geral, são classificados em:

- Proteção por barreira: a tinta deve ser o mais impermeável possível e aplicada em espessuras elevadas. Tintas de alta espessura, chamadas de HB (high build) tem como vantagem a economia de mão de obra para a aplicação. Alem das tintas de alta espessura, as que oferecem melhor proteção por barreira são as betuminosas e as de alumínio. O inconveniente da proteção por barreira é que, se houver um dano à película, a corrosão se alastrara sob película por aeração diferencial. Assim, é sempre recomendável que se utiliza tintas de fundo com mecanismos de proteção catódica ou anódica.
- Proteção anódica: a proteção das regiões anódicas é proporcionada pelos pigmentos anticorrosivos, todos de caráter oxidante. A proteção pode ser dada

através da dissolução do pigmento (como o cromato de zinco, que em contato com a água, libera íons passivamente de cormato) ou por aço oxidante (o zarcão, por exemplo, é um oxidante enérgico de características alcalinas).

– Proteção catódica: a proteção é dada através da formação de pares galvânicos entre o aço carbono e partículas de zinco em pó (são as chamadas tintas ricas em zinco). Nestas, o zinco se corrói, protegendo o substrato de aço carbono. O teor mínimo recomendável de zinco na película seca é de 85% (o contato elétrico é fundamental à superfície da proteção).

Na elaboração de um sistema de pintura, todos os dados devem ser considerados, como o ambiente, substrato, preparação de superfície, tintas, seqüência de aplicação, numero de demãos, espessuras, tipos de aplicação e a que condições de trabalho estará submetida à superfície.

A tabela abaixo traz alguns exemplos de sistemas de pintura recomendado para os aços carbono em diferentes ambientes.

As orientações aqui apresentadas são genéricas, cabendo ao profissional uma consulta prévia e detalhada com os fabricantes de tintas e aplicadores.

	INTERNO		EXTERNO			
AMBIENTE	Úmido	Seco	Industrial	Urbano	Rural	Marinho
Preparo de superfície mínimo	Sa 2 ½	St 2, St 3, Sa 2	Sa 2 ½	St 3, Sa 2	St 2, Sa 2	Sa 2 ½
Tintas	Epoxi com pigmentos anticorrosivos	Alquídicas	Epoxi com pigmentos anticorrosivos 1 demão de primer e 2 de acabamento. Epoximastic 2 demãos	Alquídica com pigmentos anticorrosivos 2 demãos de primer e 2 de acabamento. Epoximastic 1 demãos	Alquídica com pigmentos anticorrosivos 1 demão de primer e 2 de acabamento. Epoximastic 1 demãos	Epoxi com pigmentos anticorrosivos 2 demão de primer e 2 de acabamento. Epoximastic 2 demãos
Tintas de Acabamento	Epoxi	Alquídicas	Poliuretânica ou Epoximastic	Alquídica ou Epoximastic	Alquídica ou Epoximastic	Poliuretânica
Espessura total recomendada (μm)	100-175	70-125	250-300	100-175	70-125	250-300
Pigmentos anticorrosivos: Zarcão, cromato de zinco, fosfato de zinco, zinco metálico, silicato de cálcio, etc.						

Atenção

A aplicação de proteção contra a corrosão deve ser estudada em conjunto com a necessidade de proteção frente ao fogo (proteção passiva) da estrutura. A aplicação de proteção passiva em áreas internas, onde não exista condensação de água não requer preparo de superfície, a não ser a retirada de carepas e ferrugens soltas, além de graxas e óleos, quando houver.

Fig 71

Principais métodos de proteção contra corrosão são:

– **Aumento da resistência do metal à corrosão**, que pode ser conseguido através de um revestimento metálico com resistência à corrosão melhor do que a do metal base, através da formação de uma camada de corrosão inicial protetora (anodização e fosfatização), protetora catódica e o uso de aços de alta resistência à corrosão;

– **Redução da ação corrosiva do meio**, sem atuar no metal;

– **Galvanização ou zincagem**, que consiste em proteger o aço da corrosão com uma camada de zinco metálico. Esta camada conseguida através da imersão do aço num banho de zinco metálico;

– **Através de uma barreira entre o metal e o meio**. Há vários materiais que podem formar esta barreira, como cerâmicos, betumes, asfalto, etc, mais o mais importante são as tintas.

Para que os métodos de proteção contra corrosão sejam efetivos, é necessária a reparação e limpeza da superfície das peças para receber tal proteção, visando retirar óleos, gorduras, graxas, cascas de laminação e partes oxidadas. Os principais métodos de limpeza são:

– **Utilização de solventes**, isentos de óleo, sobre a superfície da peça;

– **Desagregamento natural**, que consiste em favorecer a formação abundante de ferrugem, facilitando a sua retirada por meios mecânicos;

– **Limpeza manual**, que consiste no uso de escovas (manuais ou mecânicas), lixadeiras ou esmerilhadeiras sobre as peças;

– **Limpeza mecânica**, utiliza os mesmos meios da limpeza manual mais de um modo mais completo para a obtenção de brilho metálico;

– **Limpeza com chamas**, que consiste em aquecer a superfície metálica com a chama de um maçarico. Como há diferença entre dilatação do aço e da casca de laminação, ele desagrega do aço. A limpeza final é feita com escova mecânica.

– **Limpeza com jato abrasivo (granalha)**, que é o método mais empregado e de maior eficiência na preparação de superfícies metálicas para pintura. Primeiramente, é importante frisar que o uso do **jateamento com areia é PROÍBIDO** pela legislação brasileira, só podendo ser usados granalhas de metais abrasivos. O equipamento consiste basicamente em um reservatório para o abrasivo, acoplado a uma tubulação de ar comprimido e a um tubo flexível com

um bico na extremidade da projeção do abrasivo na superfície metálica. Cabine de jatos também são utilizadas com a mesma função, com a vantagem de reaproveitamento do material por um sistema de sucção e a não contaminação do meio ambiente.

– **Decapagem**, que é a retirada de qualquer impureza depositada sobre uma superfície metálica. Essa retirada pode ser feita usando processos mecânicos, já citados, ou processos químicos. A decapagem química é feita com o emprego de ácidos (clorídrico/muriático, sulfúrico, ou fosfórico).

38 LIMPEZA E PROTEÇÃO DA ESTRUTURA

A limpeza e a proteção da estrutura visam dar melhor aspecto estético à estrutura e principalmente, protegê-la do ataque corrosivo do meio ambiente.

Antes de se falar sobre os processos de limpeza e proteção da estrutura, é necessário um conhecimento básico sobre corrosão.

A corrosão nada mais é do que alterações que um material qualquer sofre devido ao ataque de algum elemento da natureza (chuva, sol, etc). nosso caso, seria a reação do aço com agentes agressivos externos, resultando na formação de óxidos.

A duas formas de ocorrência da corrosão: Corrosão Química ou Seca e a Corrosão Eletrolítica ou Úmida. Na corrosão química, o metal reage na presença de um gás, formando um sal ou óxido. Os gases poluentes que reagem com o aço são: Anidrido Sulforoso, Anidrido Nitroso, Gás Sulfúrico e Gás Clorídrico. Na corrosão eletrolítica o aço reage com os gases e a água (que pode ser proveniente da umidade do ar, das chuvas, etc.) formando o hidróxido de ferro (ferrugem), que mais tarde irá formar o óxido de ferro e água. A corrosão eletrolítica é a mais representativa por se um fenômeno que ocorre com maior intensidade.

O cuidado com a corrosão deve começar na fase de projetos, procurando-se evitar acumulo de água e materiais na estrutura. A figura 70 mostra exemplos destes cuidados:

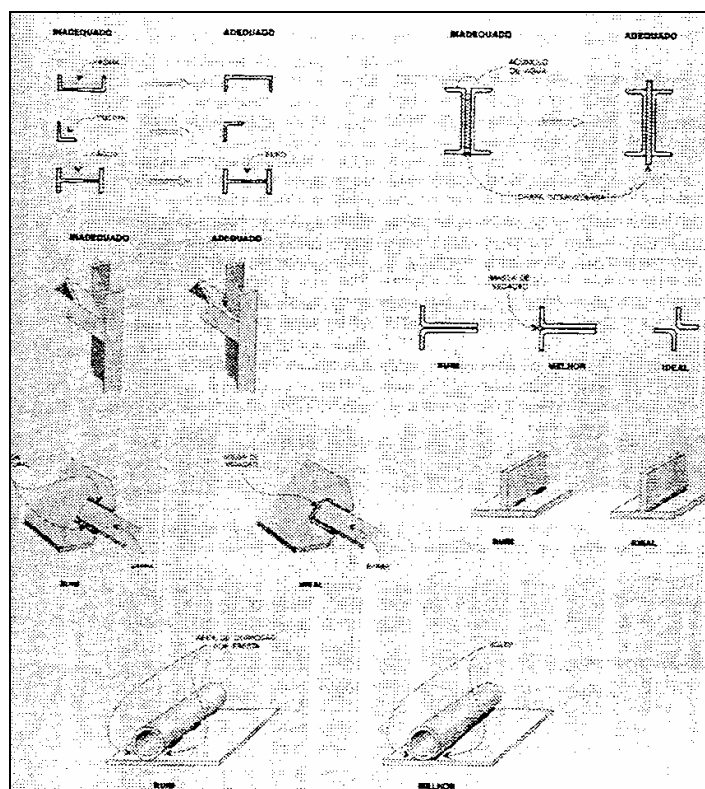
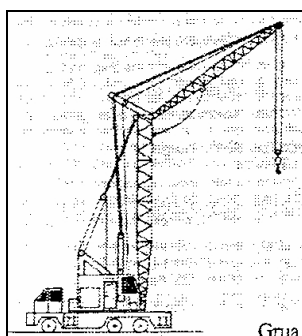
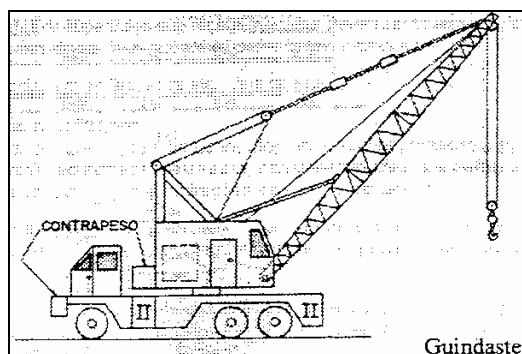
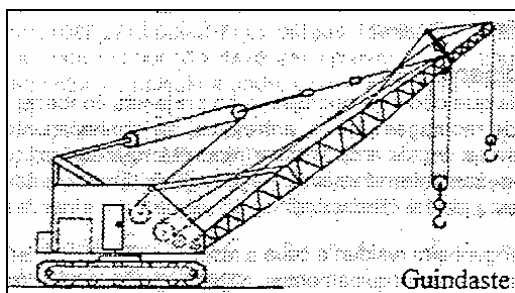
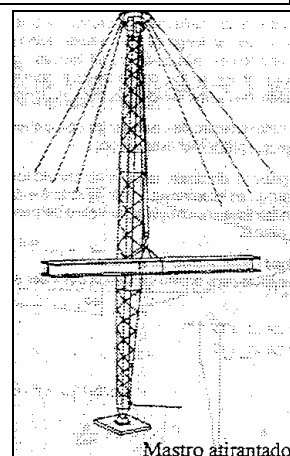
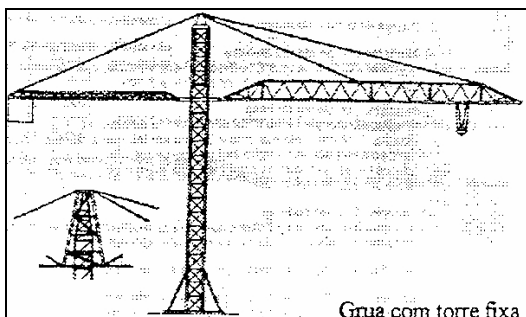
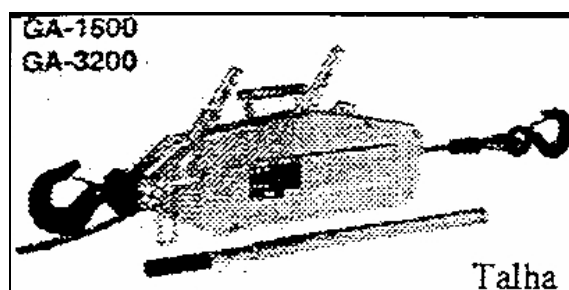



Fig 70

39 MONTAGEM

Consiste na união das peças de modo a obter a estrutura metálica final. A montagem requer um planejamento. Durante este planejmento devemos estudar os equipamentos a serem utilizados, o numero de funcionários necessários, os meios de ligação (parafusos, soldas), a estabilidade da estrutura durante a montagem, o canteiro de obras, o projeto de montagem e outros. A seguir, são mostradas as principais máquinas de elevação e movimento de peças:

Grua

Guindaste

Guindaste

Talha

Mastro atirantado

Grua com torre fixa

Talha

40 MANUTENÇÃO

Os cuidados com a estrutura não devem ficar restritos à sua fabricação. Deve-se sempre fazer inspeções para verificar o estado de conservação da estrutura. A periodicidade desta inspeção depende do local de uso da estrutura. Durante a execução do projeto é essencial que se deixe acesso fácil aos locais onde existe a necessidade de manutenção e revisão durante a vida útil da estrutura.